



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

**AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS SOMETIDOS A FATIGA
POR FLEXIÓN ROTATIVA CON CAPACIDAD DE 294 N·M**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de:
Ingeniero Mecánico

AUTORES: STEVE SEBASTIAN VALENCIA TANA
BRYAN MARCELO VALLEJOS LASCANO

TUTOR: JAIME ROLANDO HEREDIA VELASTEGUÍ

Quito – Ecuador

2024

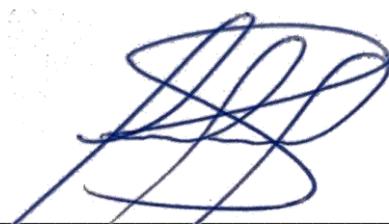
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Steve Sebastian Valencia Tana con documento de identificación N° 1724372246 y Bryan Marcelo Vallejos Lascano con documento de identificación N° 1721406559; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 01 de octubre del año 2024

Atentamente,



Steve Sebastian Valencia Tana
1724372246



Bryan Marcelo Vallejos Lascano
1721406559

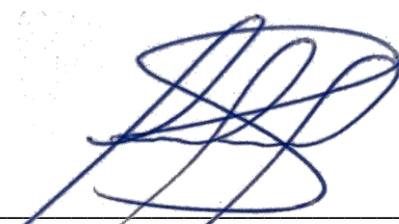
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Steve Sebastian Valencia Tana con documento de identificación No. 1724372246 y Bryan Marcelo Vallejos Lascano con documento de identificación No.1721406559, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del desarrollo de una Propuesta tecnológica: “Automatización de la máquina de ensayos sometidos a fatiga por flexión rotativa con capacidad de 294 N·m”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de octubre del año 2024

Atentamente,



Steve Sebastian Valencia Tana
1724372246



Bryan Marcelo Vallejos Lascano
1721406559

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jaime Rolando Heredia Velasteguí con documento de identificación N° 1721400768, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS SOMETIDOS A FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA CON CAPACIDAD DE 294 N·M, realizado por Valencia Tana Steve Sebastián con documento de identificación N° 1724372246 y por Vallejos Lascano Bryan Marcelo con documento de identificación N° 1721406559, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de octubre del año 2024

Atentamente,



Ing. Jaime Rolando Heredia Velasteguí M.Sc.
1721400768

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	12
Antecedentes.....	12
Problema.....	12
Justificación.....	14
OBJETIVOS.....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos.....	14
CAPÍTULO I.....	16
Estado del arte.....	16
1.1 Fatiga.....	17
1.1.1 Fatiga de materiales.....	18
1.1.2 Fenómeno de fatiga.....	18
1.1.3 Factores que influyen en la fatiga.....	19
1.1.4 Falla por fatiga.....	19
1.1.5 Métodos Fatiga-Vida.....	20
1.1.6 Resistencia a la fatiga.....	21
1.2 Diagrama de Wohler.....	24
1.3 Ensayo a fatiga.....	26
1.4 Máquina de ensayo a fatiga.....	27
1.5 Fallos por esfuerzos a fatiga.....	28
1.6 Automatización.....	29
1.6.1 Características de los sistemas de automatización industrial.....	31
1.6.2 Etapas de la automatización.....	31
1.6.3 Pasos para la automatización.....	32
1.6.4 Componentes de un sistema de automatización.....	34
1.6.5 Sistemas de adquisición de datos.....	36
CAPÍTULO II.....	38
Diseño de la automatización de la máquina.....	38
2.1 Generalidades del sistema.....	39
2.1.1 Especificaciones de la máquina.....	39
2.1.2 Proceso de la automatización.....	39
2.2 Diseño del sistema.....	40

2.2.1 Controlador	40
2.2.2 Partes del LOGO	40
2.2.3 Programación del LOGO	43
2.2.4 Sensores	43
2.2.4.1 Sensor rotativo incremental.....	43
2.2.4.2 Partes del encoder	45
2.2.5 Sensor final de carrera	47
2.2.6 Actuadores.....	48
2.2.6.1 Motor activador de embrague.....	51
2.2.7 Componentes electrónicos y eléctricos.....	51
2.3 Software de control.....	60
2.3.1 Funcionamiento del diagrama de bloques.....	63
2.3.2 Interfaz de usuario	64
2.3.3 Flujograma del diseño experimental:.....	65
2.3.4 Diagrama de flujo del proceso de automatización.....	66
CAPÍTULO III	67
Análisis de costos	67
3.1 Costos directos	67
3.2 Costos indirectos	69
3.3 Descripción del costo total.....	70
CAPÍTULO IV	71
Resultados.....	71
4.1 Características de las probetas	71
4.2 Condiciones de ensayo	71
4.3 Duración del ensayo	71
4.4 Resultados de los ensayos.....	72
4.5 Análisis de resultados.....	72
4.5.1 Comportamiento del acero 1045	72
4.5.2 Comportamiento del acero 1018	77
4.5.3 Comparación entre aceros.....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
Conclusiones.....	79
Recomendaciones	81
Anexos	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones de parámetros a considerar.....	39
Tabla 2: Partes y funciones LOGO SIEMENS 12/24 RCE	41
Tabla 3: Datos técnicos obtenidos de SIEMENS	42
Tabla 4: Datos técnicos del Encoder ERN 420	45
Tabla 5: Especificaciones internas del Encoder ERN 420.....	46
Tabla 6: Datos técnicos del motor AQUASAVER	49
Tabla 7: Detalles primordiales de la fuente	52
Tabla 8: Características del contactor EBS1C-2510	55
Tabla 9: Elementos de diseño que integra el sistema de automatización	61
Tabla 10. Costos directos	68
Tabla 11. Costos indirectos	69
Tabla 12. Datos del acero 1018	72
Tabla 13. Datos del acero 1045	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfica esfuerzo - deformación entre un material dúctil y frágil	18
Figura 2: Coeficientes correctores de la vida a fatiga	19
Figura 3: Curva S-N acero	21
Figura 4: Diagrama S-N	22
Figura 5: Esquema de flexión rotatoria.....	25
Figura 6: Diagrama de Wohler	25
Figura 7: Diagrama de Wohler en escala logarítmicas	26
Figura 8: Proceso para efectuar el ensayo por flexión rotativa.....	26
Figura 9: Esquema del mecanismo a fatiga por flexión rotativa.....	27
Figura 10: Comportamiento del material a flexión rotativa.....	28
Figura 11: Tensión y compresión de la probeta a una revolución	29
Figura 12: No linealidad de un sensor	31
Figura 13: Partes del LOGO SIEMENS	40
Figura 14: Encoder HEIDENHAIN ERN 420	44
Figura 15: Partes internas del encoder	45
Figura 16: Modelo de motor MABE.....	48
Figura 17: Fuente de poder S-120-24	52
Figura 18: Relé térmico Nxr-38.....	53
Figura 19: Parámetros de corriente del relé térmico.....	54
Figura 20: Contactador EBS1C-2510	54
Figura 21: Disyuntor Schneider.....	56
Figura 22: Pulsadores metálicos NP2.....	57
Figura 23: Perilla on – off.....	58
Figura 24: Luces piloto Chint	58
Figura 25: Relación cable – amperaje.....	59
Figura 26: Programación Diagrama de Bloques del sistema de automatización.....	62
Figura 27: Diagrama S-N.....	73
Figura 28: Factores de superficie según el acabado.....	76

RESUMEN

El proyecto se centró en la automatización de una máquina de ensayos de fatiga por flexión rotativa con una capacidad de 294 N·m. El objetivo general fue mejorar la precisión y eficiencia y confiabilidad de los ensayos mediante la implementación de un sistema automatizado. Para lograr esto, se diseñó un sistema de automatización y una interfaz de usuario para la adquisición y análisis de datos con componentes disponibles en el mercado local.

Se llevaron a cabo ensayos con probetas de acero 1018 y 1045 donde pruebas confirmaron la exactitud del sistema automatizado en la medición y registro de datos durante los ensayos de fatiga, garantizando resultados representativos y útiles. Comparando los materiales, el acero 1045 mostró una vida útil promedio mayor (1487 ciclos) que el acero 1018 (1021 ciclos) bajo las mismas condiciones, destacando al acero 1018 como una opción superior en términos de resistencia a la fatiga.

Los resultados revelaron una notable mejora significativa en la precisión y consistencia de los datos recolectados, con una reducción notable en la intervención humana y el margen de error. El sistema automatizado permitió un monitoreo continuo y preciso de los ciclos de carga y descarga, proporcionando datos detallados y fiables sobre la resistencia a la fatiga del material.

En conclusión, la automatización de la máquina de ensayos no solo optimizó el tiempo de prueba y la calidad de los datos, sino que también proporcionó una herramienta valiosa para la caracterización de materiales, mejorando la seguridad y durabilidad de los componentes estructurales.

Palabras claves: automatización, fatiga por flexión rotativa y ensayos de materiales

ABSTRACT

The project focused on automating a rotary bending fatigue testing machine with a capacity of 294 N·m. The general objective was to improve the accuracy, efficiency, and reliability of testing by implementing an automated system. To achieve this, an automation system and a graphical user interface for data acquisition and analysis were designed using locally available components.

Tests were carried out on 1018 and 1045 steel specimens where tests confirmed the accuracy of the automated system in measuring and recording data during fatigue tests, guaranteeing representative and useful results. Comparing the materials, 1045 steel showed an average longer life (1487 cycles) than 1018 steel (1021 cycles) under the same conditions, highlighting 1018 steel as a superior option in terms of fatigue strength.

The results showed a significant improvement in the accuracy and consistency of the collected data, with a notable reduction in human intervention and error margin. The automated system allowed for continuous and precise monitoring of the loading and unloading cycles, providing detailed and reliable data on the fatigue strength of the material.

In conclusion, the automation of the testing machine not only optimized testing time and data quality but also provided a valuable tool for material characterization, improving the safety and durability of structural components.

Keywords: automation, rotary bending fatigue, and materials testing

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los ensayos de fatiga son una técnica crucial en la ingeniería de materiales que permite evaluar la resistencia de los materiales bajo cargas cíclicas. Desde su desarrollo inicial, los ensayos de fatiga se han empleado ampliamente en la industria mecánica, aeronáutica y de construcción para prever la durabilidad y seguridad de los componentes estructurales. Tradicionalmente, estos ensayos se realizaban de manera manual o con equipos semiautomatizados, donde la intervención humana era esencial para iniciar, monitorear y registrar los datos del ensayo. Sin embargo, esta metodología conlleva varios desafíos, como la variabilidad en los resultados debido a la inconsistencia en la aplicación de la carga y la dificultad para registrar datos de manera precisa y continua [1].

Con el avance de la tecnología, la automatización ha surgido como una solución para mejorar la exactitud de los ensayos de fatiga. La incorporación de sistemas automatizados permite controlar los parámetros de ensayo de manera más exacta y consistente, reducir la intervención humana y aumentar la cantidad de datos recogidos en menor tiempo. A pesar de estos avances, muchas máquinas de ensayo todavía no han adoptado plenamente la automatización debido a los costos iniciales y la complejidad en la integración de nuevos sistemas tecnológicos.

En particular, las máquinas de ensayo de fatiga por flexión rotativa con capacidades específicas, como las de 294 N·m, presentan una oportunidad para implementar tecnologías de automatización avanzada. Estos sistemas requieren componentes precisos y una integración cuidadosa para asegurar que el proceso de ensayo se realice de manera eficiente y segura. Los avances en la tecnología de controladores lógicos programables, sensores y software de control han facilitado la creación de sistemas más robustos y eficientes, proporcionando una base sólida para la automatización completa de los ensayos de fatiga.

Problema

El problema central en la automatización de las máquinas de ensayo de fatiga por flexión rotativa radica en la necesidad de mejorar la precisión, eficiencia y consistencia de los ensayos. Actualmente, muchas máquinas de ensayo operan de manera manual o semiautomática, lo que implica, procesos lentos y tediosos, ya que la recopilación y monitoreo de información que registran de manera manual, lo que requiere tiempo y limita la cantidad de pruebas que se

pueden realizar. La falta de exactitud de los resultados puede verse influida por la intervención humana durante el proceso de prueba, consecuentemente puede presentar riesgos de seguridad para el operador. Esta variabilidad puede afectar la exactitud de los datos recolectados, limitando la capacidad de caracterizar adecuadamente los materiales bajo estudio.

Además, la falta de automatización en estos ensayos impide el monitoreo continuo y preciso de los ciclos de carga y descarga a los que se someten las probetas. Los métodos manuales para registrar estos ciclos son propensos a errores y no siempre capturan todas las variaciones en los parámetros de ensayo. Esto puede resultar en datos incompletos o inexactos, dificultando la estimación de la resistencia a la fatiga de los materiales y la predicción de su comportamiento en aplicaciones reales.

Otro aspecto crítico del problema es la integración de los componentes de automatización en la máquina de ensayo existente. La selección adecuada de componentes como PLCs, encoders, sensores y motores, así como su configuración y programación, es un desafío técnico significativo. Un diseño inadecuado o una implementación deficiente puede llevar a problemas como la desincronización de los componentes, errores en la recolección de datos y fallos en los sistemas de protección, comprometiendo la fiabilidad y seguridad del ensayo.

Es por eso este trabajo de titulación se plantea la siguiente interrogante " ¿Cómo se puede automatizar una máquina de ensayos sometidos a fatiga por flexión rotativa con capacidad de 294 N·m, que optimice el tiempo de prueba en los ensayos, que el monitoreo y recopilación de datos se realicen a través de un módulo lógico inteligente, es decir de manera automática, para que el operador no intervenga en ocasiones que no se requieran, logrando así una mejor precisión en los resultados del ensayo, mientras se garantiza la durabilidad de los materiales utilizados? "

Justificación

La automatización no solo reducirá la intervención humana y el margen de error, sino que también permitirá un control más preciso de los parámetros del ensayo y un monitoreo continuo de los ciclos de carga y descarga. Esto resultará en datos más fiables y detallados, mejorando la caracterización de los materiales bajo estudio.

Además, los estudiantes y profesionales se beneficiarán de una mejor comprensión de los comportamientos de los materiales bajo condiciones de fatiga, puesto que los resultados serán más precisos y fiables permitirán tomar decisiones sobre la elección de materiales y el diseño de componentes, mejorando la seguridad y durabilidad de los productos.

La factibilidad del proyecto es alta debido a la disponibilidad de tecnologías avanzadas de automatización, como los PLCs, encoders, sensores y software de control. La experiencia previa en la integración de sistemas automatizados y el acceso a recursos técnicos y financieros necesarios también favorecen la realización exitosa del proyecto. Además, la existencia de un marco teórico sólido y estudios previos sobre la automatización de ensayos de materiales proporciona una base robusta para el progreso e implementación del sistema propuesto.

La importancia del monitoreo y la recopilación de datos mediante la prueba de ensayos de modo automatizado es que se pueden ejecutar pruebas sin supervisión, por sus elementos de control que puede monitorear la prueba y registrar datos de forma automática, liberando al operador para realizar otras tareas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Automatizar la máquina de ensayos sometidos a fatiga por flexión rotativa con capacidad de 294 N·m.

Objetivos específicos

Identificar la necesidad del estado del arte actual de la máquina de ensayos sometidos a fatiga por flexión rotativa en el laboratorio de resistencia de materiales, enfatizando las limitaciones manuales actuales y los beneficios de la automatización.

Diseñar el sistema de automatización y la interfaz de usuario para la adquisición y análisis de datos mediante un software especializado y la selección de componentes existentes en el mercado local.

Evaluar el equipo mediante pruebas para confirmar el funcionamiento y la exactitud del sistema automatizado mediante la validación de datos entregados por el dispositivo de control.

CAPÍTULO I

Estado del arte

En 1837, Albert Wilhelm compartió hallazgos sobre experimentos de fatiga. Él diseñó un dispositivo de prueba para evaluar una cadena transportadora defectuosa en la mina Clausthal. Se evidencia una correlación genuina cuando las sobrecargas inesperadas resultan de cantidades de períodos de tensión y carga de tracción, más que de la fatiga hasta la eventual falla [2].

El concepto de falla "prematura" inducida por cargas repetitivas fue inicialmente identificado en la industria ferroviaria. En 1842, Rankin objetó la presencia de tensiones por fatiga en los ejes ferroviarios, ya que causaban fallos intermitentes similares a los de materiales frágiles como el acero maleable. Propuso que estos ejes fueran fabricados con cubos de mayor diámetro y radios más amplios para evitar interrupciones en el flujo de grano durante la fabricación [2].

En 1870, Wohler concluyó que el rango de tensión tiene una parte crucial en las fallas por fatiga. En ese tiempo fue pionero en incluir la importancia del diagrama esfuerzo-vida, donde establece la relación entre la tensión empleada S y la vida útil en ciclos. En consecuencia, se puede observar la vida útil bajo fatiga reduce con el acrecentamiento de la amplitud de la presión, y cuando alcanza un "límite de fatiga" el material determinado por carga máxima que puede resistir bajo el número infinito de ciclos en presión [2].

La capacidad de una máquina de ensayo, como una capaz de 294 N·m, de aplicar cargas importantes es esencial para reproducir las condiciones reales de funcionamiento a las que estará sometido el producto en el transcurso de su vida útil. Es muy importante en aplicaciones que requieren resistencia a la fatiga, como componentes mecánicos exigentes, estructuras sujetas a vibración constante o dispositivos biomédicos implantables [3].

Sin embargo, las pruebas de fatiga por flexión y rotación manual pueden ser engorrosas, propensas a errores y limitadas en precisión y repetibilidad. Aquí es donde entra en juego la automatización. La automatización de los equipos de prueba no solo aumenta la eficiencia y la productividad al eliminar la intervención manual constante, sino que también mejora la precisión y confiabilidad de los resultados [3].

1.1 Fatiga

La fatiga se caracteriza por el deterioro progresivo de un material sometido a cargas repetitivas, cuyos valores están por debajo de aquellos que causarían su ruptura por tracción. Durante este proceso, una grieta se forma y, bajo las situaciones adecuadas, puede trascender hasta provocar la fractura posteriormente de una cierta cantidad de número de ciclos de carga. Aunque no existe una explicación completa para el fenómeno de la fatiga, se acepta generalmente que la fractura resultante se debe a deformaciones plásticas en la estructura, de manera similar a las deformaciones unidireccionales causadas por cargas estáticas. La diferencia principal radica en que las cargas cíclicas generan deformaciones residuales en algunos cristales del material [4].

Es un modo de falla que ocurre en materiales cuando se inician y propagan fisuras en objetos sujetos a tensiones que varían con el tiempo se llama proceso subcrítico, este fenómeno se considera previo a la ruptura real del material, pero puede ser un precursor de ella [4].

La fractura de un material se produce cuando un objeto se divide en dos o más partes debido a una fuerza aplicada de manera constante o estática y a temperaturas correspondientemente bajas en semejanza con el punto de fusión del material. En los materiales utilizados en ingeniería, existen dos tipos posibles de fractura dúctil o frágil [5].

Esta distinción se fundamenta en donde el material presenta la capacidad de ser examinado ante la deformación plástica. En la fisura frágil, generalmente hay poca o ninguna deformación plástica y una baja absorción de energía en el transcurso de la fisura. Por el contrario los materiales dúctiles suelen mostrar una deformación plástica significativa y una alta absorción de energía antes de fracturarse [5].

La Figura 1: Gráfica esfuerzo - deformación entre un material dúctil y frágil, [6], indica la interacción con respecto a la fuerza aplicada y la alteración en la forma del material, diferenciando entre uno que posee capacidad de deformación y otro que tiende a fracturarse fácilmente [6].

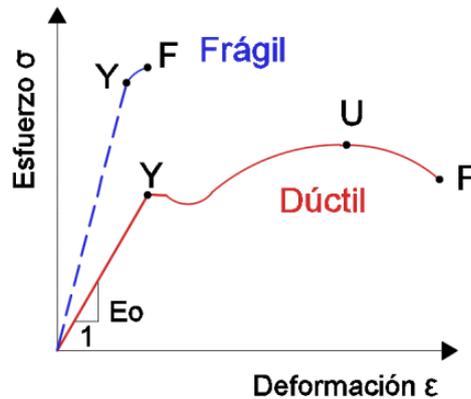


Figura 1: Gráfica esfuerzo - deformación entre un material dúctil y frágil, [6].

1.1.1 Fatiga de materiales

La fatiga es un tipo de fractura, presenta en elementos bajo tensiones dinámicas y cambiantes. Puede suceder a niveles de tensión menores a la resistencia a la tracción o al límite elástico para una carga estática [7].

Incluso en metales dúctiles, la fractura por fatiga puede ser frágil porque la deformación plástica asociada con la fractura es pequeña. Este proceso implica el inicio y la posterior propagación de grietas. La orientación de la tensión es perpendicular a la superficie de fractura [7].

1.1.2 Fenómeno de fatiga

La fatiga se refiere a un proceso gradual y localizado que ocasiona alteraciones permanentes en la estructura de un material cuando se encuentra expuesto a condiciones que generan esfuerzos y deformaciones variables en uno o más puntos. Estas modificaciones pueden eventualmente dar lugar a la aparición de grietas o incluso a la fractura general después de un número considerable de ciclos de fluctuaciones [3].

1.1.3 Factores que influyen en la fatiga

En una representación logarítmica, el comportamiento de la fatiga se aproxima mediante una línea recta. Esta línea alcanza una tensión mínima por debajo de la cual no ocurre el fallo por fatiga, conocida como el límite de fatiga. Sin embargo, en algunos materiales como las aleaciones de aluminio que están siendo estudiadas, este límite no es aplicable. Para considerar los diversos factores que afectan la fatiga, se ajusta la curva manteniendo constante el punto que representa mil ciclos, y se altera el límite de fatiga en función de estos factores que son Coeficientes correctores de la vida a fatiga, [8].[8].

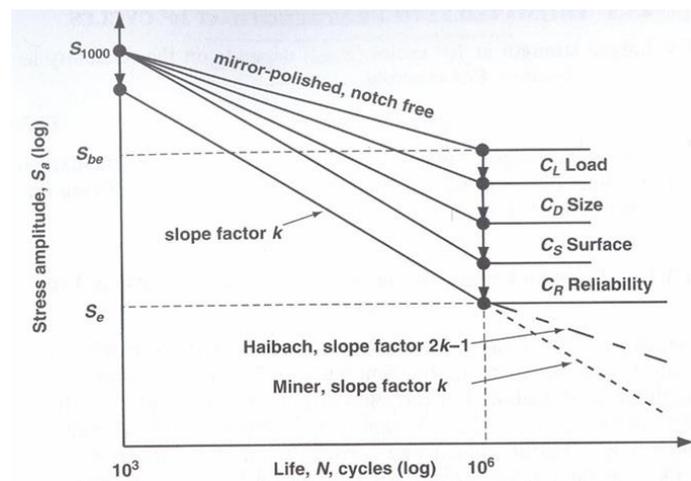


Figura 2: Coeficientes correctores de la vida a fatiga, [8].

1.1.4 Falla por fatiga

Existen situaciones en que se examinan componentes de máquinas que sufrieron fallos debido a la acción de esfuerzos que se repiten o varían a lo largo del tiempo. Un análisis de la causa de estos fallos revela que los esfuerzos máximos efectivos bordeaban por debajo del límite de resistencia de dichos materiales o, incluso más inesperadamente, por debajo del límite elástico. Lo característico de estos fallos es que los esfuerzos experimentaron cambios a lo largo del tiempo. Se conoce a este tipo de fallo como fatiga [9].

Inicialmente se creía que la falla por fatiga estaba vinculada a cambios en la estructura cristalina como resultado de cargas variables, razón por la cual se le denominó 'fatiga'. No obstante, investigaciones posteriores han demostrado que no hay cambios en la estructura del metal durante el desarrollo de una falla por fatiga. A pesar de este hallazgo, el término 'fatiga' ha perdurado por tradición para describir esta anomalía [9].

La falla por fatiga comienza de manera localizada, con la formación de una grieta microscópica que no es visible a simple vista. Incluso con técnicas de intervención como rayos X o ultrasonido, encontrar estas microgrietas resulta extremadamente difícil. Estas grietas suelen originarse en áreas donde el material presenta discontinuidades, como cambios abruptos de sección, canales, orificios o irregularidades provocadas por procesos de mecanizado, lo que resulta en una concentración de esfuerzos, como se discutió anteriormente. También es posible que una grieta se origine dentro del material, por ejemplo, en una dislocación intergranular, o debido a irregularidades en el proceso de fabricación. Una vez que se forma la grieta, los esfuerzos variables la hacen crecer, lo que aumenta su capacidad para concentrar esfuerzos. A medida que la grieta se expande, el área que resiste el esfuerzo disminuye, lo que lleva a un aumento del esfuerzo neto. En el transcurso, el área disminuye tanto que ya no puede soportar y se produce una fractura súbita [9].

1.1.5 Métodos Fatiga-Vida

Se emplean tres modelos primordiales en el diseño y análisis para anticipar en qué momento, en caso de ocurrir, un componente de una máquina sometido a cargas cíclicas fallará debido a la fatiga dentro de un intervalo de tiempo determinado [10].

Estos métodos buscan estimar la vida útil en términos de número de períodos o ciclos (N), hasta llegar al fallo para un grado determinado de carga. Generalmente, se considera que la fatiga de bajos ciclos sucede cuando $1 < N < 10^3$ ciclos o la fatiga de altos ciclos sucede cuando $N > 10^3$ ciclos [10].

Actualmente, se emplean tres métodos principales:

- **Método de esfuerzo-vida (S-N).** Procedimiento basado únicamente en grados de esfuerzo. Posee de una gran cantidad de datos de respaldo y refleja adecuadamente las aplicaciones de elevado ciclado. Es el enfoque más habitual, ya que resulta ser más sencillo de llevar a cabo en una extensa gama de situaciones de diseño [10].
- **Método deformación-vida (ϵ -N).** El método involucra un estudio más minucioso de la deformación plástica en áreas específicas, en el que se evalúan los esfuerzos y cambios de forma con el fin de estimar la vida útil. Es particularmente efectivo en usos con fatiga de poco ciclado. Sin embargo, este modelo asume ciertas simplificaciones que generan dudas en los resultados [10].

- **Método de mecánica de la fractura.** Este enfoque es usado para prever el crecimiento de la grieta en relación con la intensidad del esfuerzo. Es más efectivo cuando se aplica a estructuras de gran tamaño, en conjunto con códigos informáticos y un programa de inspección periódica [11].

La dirección de los ensayos a fatiga por flexión rotativa se centralizan en el estudio del método de análisis esfuerzo-vida porque el enfoque de la curva S-N es el método principal en el estudio de la fatiga [12].

En la Figura 3: Curva S-N acero, [12].se representa el número de ciclos en el eje horizontal y la tensión alternante aplicada a la probeta en el eje vertical, definiendo la tensión alternante como:

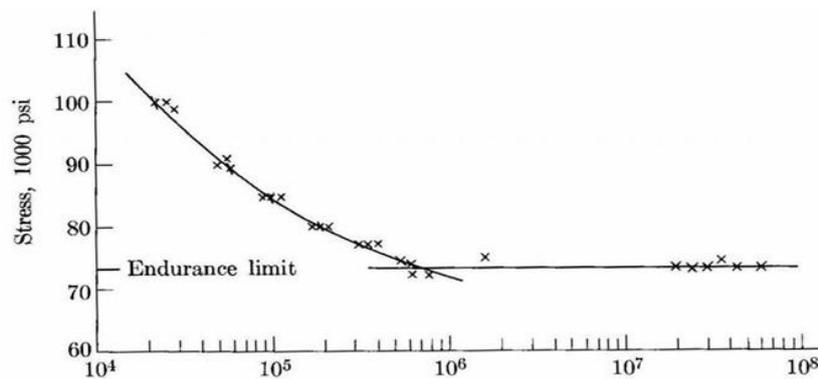


Figura 3: Curva S-N acero, [12].

Es evidente la presencia de dos segmentos claramente distinguibles en la curva. El primero muestra una pendiente negativa hasta alcanzar un millón de ciclos, mientras que el segundo permanece constante. La forma de esta curva es crucial, ya que simplifica significativamente su estimación. Es relevante destacar la presencia de un segmento constante, que representa la tensión en la que se establece el límite de fatiga, una característica que no todos los materiales exhiben [12].

1.1.6 Resistencia a la fatiga

Según [13], indica que la resistencia a la fatiga se entiende como la cantidad de períodos de carga que puede resistir un material.

Para evaluar la capacidad de un material para resistir la fatiga, se deben llevar a cabo algunas pruebas a causa de la variabilidad de este fenómeno.

En el método de ensayo a flexión rotatoria, el material se somete a una fuerza de flexión constante mientras se documenta a través de un registro la cantidad de ciclos o cambios repetitivos en la tensión aplicada [11].

Este proceso es que evalúa la capacidad de un material para resistir a la fatiga, destacando la necesidad de llevar a cabo múltiples pruebas, por medio del ensayo con eje rotatorio, el número de ciclos son esenciales y necesarios para establecer el periodo de fallo del material, siendo una parte que conforma este proceso en donde se llega a determinar la vida del material a través de los ensayos.

Como indica el Diagrama S-N, [2], un área de desgaste por carga de bajos ciclos se amplía a partir de $N = 1$ hasta aproximadamente 10^3 ciclos.

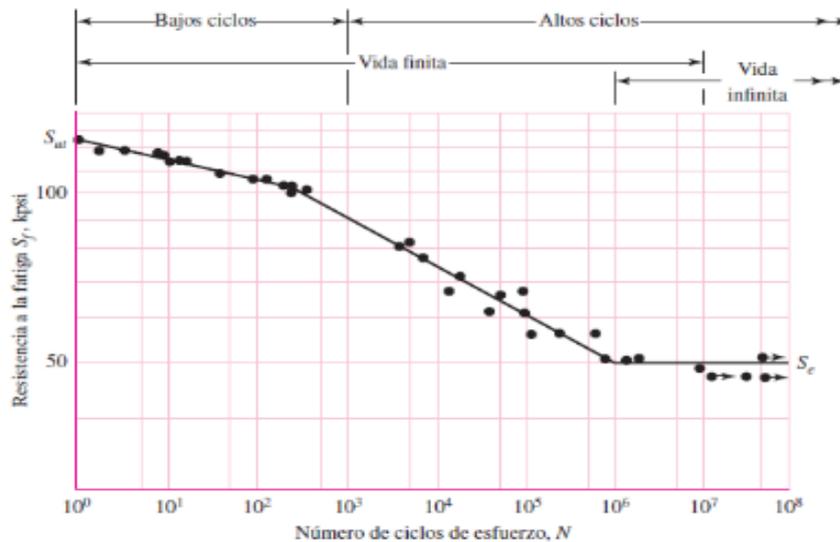


Figura 4: Diagrama S-N, [2].

En dicha área, la resistencia a la fatiga (S_f) es ligeramente mínima que la resistencia a la tracción (S_{ut}) [14]. Shigley ha proporcionado un enfoque analítico para este fenómeno.

La resistencia a fatiga y el régimen esfuerzo-vida se complementan por el enfoque ampliamente utilizado para analizar la fatiga de un material implica el vínculo entre la amplitud de esfuerzo con el número de ciclos hasta llegar a fracturar el material.

La figura también diferencia entre el rango de vida finita y el rango vida infinita. El límite entre estos rangos no se consigue definir claramente, salvo para un material particular, generalmente está situado en un cierto punto entre los ciclos 10^6 y 10^7 en la situación de los aceros.

Para construir la gráfica se requieren ciertos cálculos a través de fórmulas que son fundamentales para el diagrama esfuerzo – vida.

Resistencia última a la tensión: La resistencia última a la tensión es un parámetro importante para el diseño de componentes mecánicos, ya que indica el límite de carga que el material puede soportar sin fallar.

En general para un eje giratorio de acero es:

$$S_{ut} = 140 \text{ (KSi)} \quad (1)$$

Dependiendo del acero que se va a utilizar se revisan sus propiedades mecánicas y se obtiene el valor de la resistencia última a la tensión.

Los ciclos completamente inversos o la tensión invertida pueden soportar hasta $\sigma=80\text{KSi}$, antes de fallar. Por cierto, Ksi representa la fuerza ejercida por 1000 libras de peso actuando sobre un área de una pulgada cuadrada.

$$1 \text{ (KSi)} = 6.89476 \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Para un ciclo que es la carga estática la resistencia a la fatiga es igual a la resistencia última.

Para 1000 ciclos la fatiga es el coeficiente f , que es la fracción de resistencia a la tracción:

$$1000 \text{ ciclos} = f \cdot (S_{ut}) \quad (3)$$

Para un millón de ciclos o más la resistencia a la fatiga es lo que se llama el límite de resistencia.

Se realiza un análisis en base a estos datos y fórmulas para la elaboración del diagrama S-N, que con los mismos se tiene valores para el eje ‘y’ que viene hacer ‘S’.

La resistencia a la fatiga viene expresada por:

$$Sf = aN^b \quad (4)$$

Tener en cuenta que la resistencia a la fatiga (S_f) es diferente al límite de resistencia a la fatiga (Se).

Existen coeficientes que son a y b , forman parte de la ecuación 4 para poder obtener la resistencia a la fatiga:

$$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e'} \quad (5)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f \cdot S_{ut}}{S_e'}\right) \quad (6)$$

Con respecto a los números de ciclos, que se representa por el eje 'x' con la letra complementaria 'N', se tiene lo siguiente:

$$N = \left(\frac{\sigma_{inv}}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (7)$$

Esfuerzo invertido = σ_{inv} , es una condición de carga en la que el material experimenta ciclos de tensión compresiva y de tensión.

Tener en consideración que el límite de resistencia a la fatiga (Se), tiene factores de corrección que como su nombre lo indica hay que corregir varios aspectos:

$$Se = C_{carga} C_{tamaño} C_{superf} C_{temp} C_{conf} S_e' \quad (8)$$

Hay que tener en cuenta que las fórmulas planteadas hasta este apartado son proporcionadas del libro de Diseño de Máquinas de Robert Norton.

1.2 Diagrama de Wohler

Debido a la naturaleza aleatoria de la fatiga, es necesario realizar algunas pruebas en laboratorio para determinar los parámetros de resistencia de los metales frente a este fenómeno. Para este fin, se han desarrollado varios tipos de ensayos y las máquinas correspondientes para llevarlos a cabo. Uno de los ensayos más destacados es el de flexión rotatoria.

En los ensayos de fatiga por flexión rotativa, una muestra estandarizada se ejecuta a flexión pura, se hace girar utilizando dispositivos accionado por un motor eléctrico, como se instruye en la Figura 5: Esquema de flexión rotatoria,. [9].

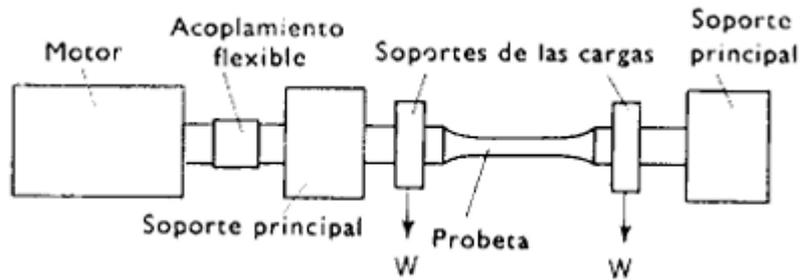


Figura 5: Esquema de flexión rotatoria, [5].

Se establece que el momento flector empleado a la parte central de la muestra mediante un sistema de cargas. Posteriormente, se hace girar la muestra cargada hasta su fractura. Luego, se registran los datos de los esfuerzos ocasionados por la flexión y el número de revoluciones de la muestra en el momento de la fractura. Las pruebas se repiten en múltiples ocasiones para diferentes niveles de carga aplicada, y los resultados logrados se reflejan en el diagrama (Figura 6). Esta Figura 6: Diagrama de Wohler,. gráfica que se conoce comúnmente como en Figura 6: Diagrama de Wohler,. o diagrama $\sigma \cdot N$ [15].

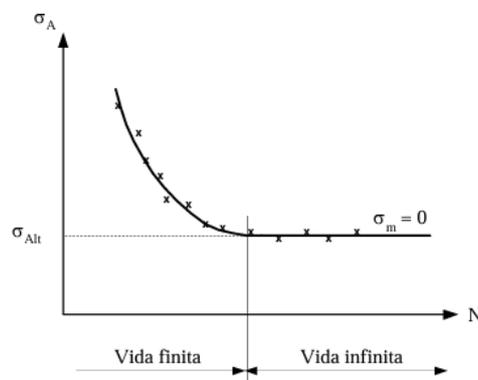


Figura 6: Diagrama de Wohler, [5].

Generalmente, estos resultados se representan en una escala semilogarítmica o logarítmica, lo que resulta en una curva que se divide en dos segmentos rectos: inclinado y horizontal de nombre Figura 7: Diagrama de Wohler en escala logarítmicas, [15].[15].

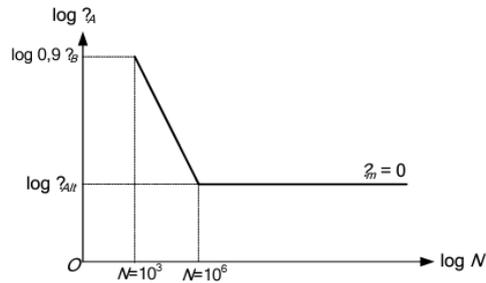


Figura 7: Diagrama de Wohler en escala logarítmicas, [15].

1.3 Ensayo a fatiga

El proceso para realizar el ensayo se coloca una muestra de forma circular, llamada probeta, bajo una carga específica (ver Figura 8: Proceso para efectuar el ensayo por flexión rotativa, [16]). Esta carga, representada por W , genera un momento flexionante puro en el centro de la probeta. Al activar el motor M para hacer girar la probeta, una fibra que principalmente se localiza en la parte alta, donde está comprimida, se desplaza a la parte inferior, donde experimenta tensión. Este ciclo de compresión y tensión se repite sucesivamente con cada rotación, lo que resulta en una inversión completa de esfuerzos en cada vuelta.

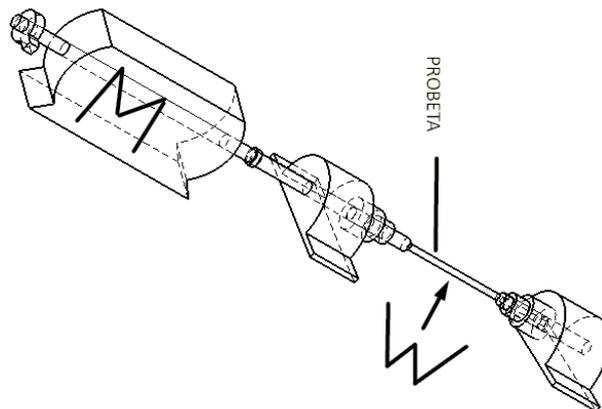


Figura 8: Proceso para efectuar el ensayo por flexión rotativa, [16]

1.4 Máquina de ensayo a fatiga

Diseñadas específicamente para realizar ensayos en probetas circulares y barras redondas, siguiendo las directrices establecidas por la normativa ASTM E466 [8].

Esta máquina opera empleando un momento flector constante hacia el material de trabajo, generalmente por medio de la suspensión de pesos. Simultáneamente, se aplica un giro de alta velocidad a la misma probeta mediante un motor eléctrico [8].

La máquina a fatiga por flexión rotativa de alta velocidad es el mecanismo comúnmente utilizado para llevar a cabo ensayos de fatiga. Este mecanismo como se aprecia en la Figura 9: Esquema del mecanismo a fatiga por flexión rotativa, [16] aplica esfuerzos de flexión alternada, también conocida como flexión pura, a la muestra mediante el uso de pesos.

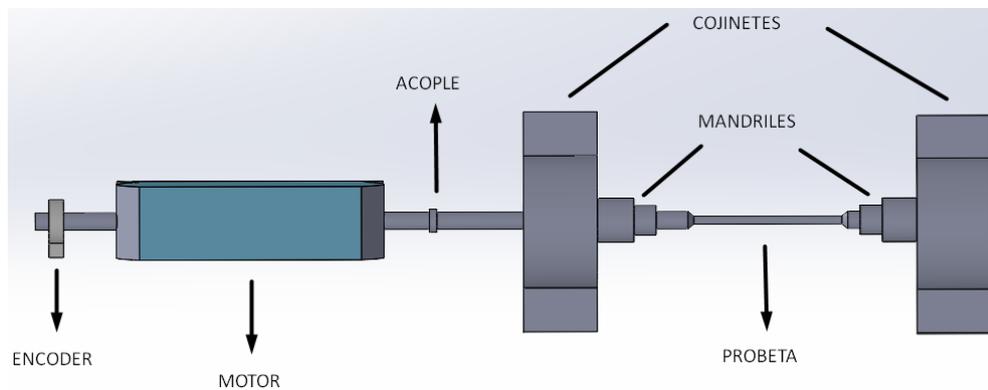


Figura 9: Esquema del mecanismo a fatiga por flexión rotativa, [16]

La máquina de ensayos a fatiga utiliza probetas cilíndricas, con una sección transversal circular y un radio continuo entre las secciones de agarre. Antes de realizar cualquier medición, las probetas se pulen para eliminar las estrías causadas por el mecanizado (en este caso, el torneado), ya que la rugosidad superficial influye significativamente en los ensayos de fatiga. Una vez listas para el ensayo, se mide el diámetro en el punto más estrecho, la longitud de la zona con radio constante y se verifica que el radio de curvatura sea mayor o igual al especificado [17].

En Ecuador, las normas INEN utilizan como referencia las normativas internacionales de la ASTM adecuadas para la práctica estándar en los ensayos de fatiga [3].

1.5 Fallos por esfuerzos a fatiga

- Fallos por torsión
- Fallos por cargas axiales
- Fallos por flexión rotativa
- Fallos por flexiones planas

El fallo que se va a evaluar es por flexión rotativa, cuando se trata de una sección circular, la fractura por fatiga comienza a lo largo de toda la circunferencia, dejando una zona de fractura final en el centro de la sección.

Con frecuencia, la carga consiste en flexión pura que se invierte en forma sinusoidal, tras un

Figura 10: Comportamiento del material a flexión rotativa, [14].

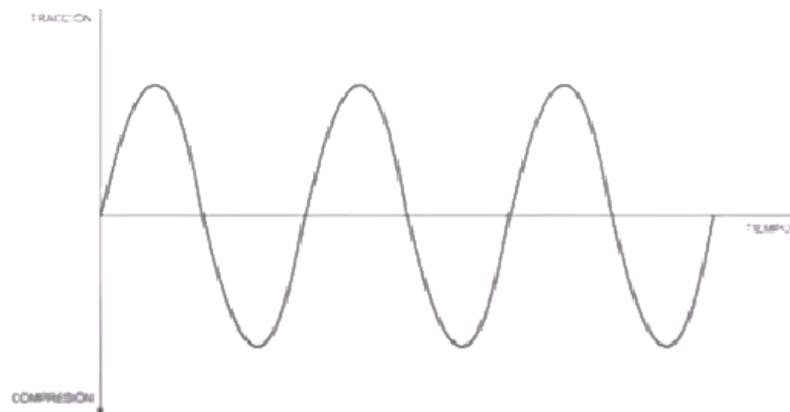


Figura 10: Comportamiento del material a flexión rotativa, [14].

Una probeta específica en la superficie de un eje rotatorio, sometida a cargas de flexión, sufre tensiones de compresión y tracción con cada giro del eje. A parte de que gira el eje se somete a una flexión [14].

El comportamiento de la probeta durante un ciclo sería la siguiente de acuerdo con la Figura 11: Tensión y compresión de la probeta a una revolución, [14] en cero vueltas la parte superior de la fibra se encuentra tensión y la parte inferior de encuentra a compresión; en media vuelta la parte superior ahora se encuentra en compresión y la parte inferior de la fibra está en tensión y al completar una vuelta vuelve a tensión la parte superior de la fibra y la inferior a compresión.

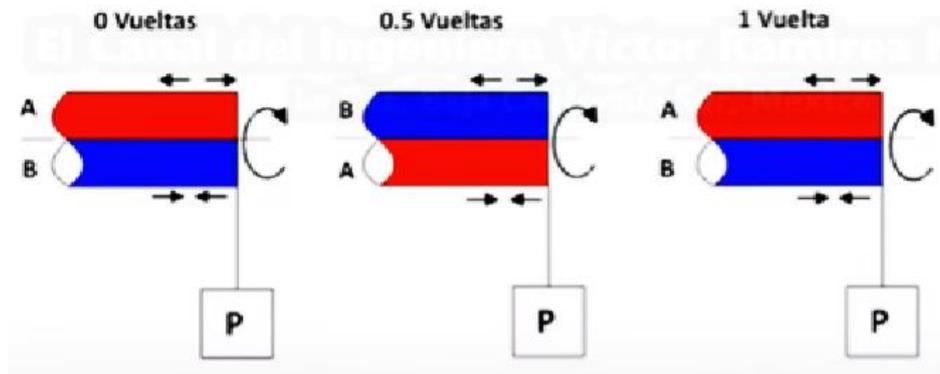


Figura 11: Tensión y compresión de la probeta a una revolución, [14]

Llegando a concluir que la carga es invertida en un ciclo, porque el análisis al iniciar empieza a tensión que resulta ser medio ciclo, luego para completar la otra mitad está a compresión conforme al tiempo, esto al repetir varios ciclos la probeta llegará a la fractura, teniendo en cuenta que este proceso se trabaja con pesos en el material, siendo un complemento del ensayo a flexión rotativa.

1.6 Automatización

El concepto de la automatización concierne al impulso de reducir la mediación humana en el ámbito industrial, por medio del uso de información integrando el área de la informática y el control automatizado para el funcionamiento autónomo y de manera óptima con métodos trazados por criterios de ingeniería [18].

Se trata de un proceso destinado a ayudar a los trabajadores en actividades recurrentes, con el desenlace de aumentar la eficiencia y la capacidad empresarial al reducir los precios y corregir la calidad de los productos. En el artículo se aborda la definición de automatización industrial, sus características esenciales y los beneficios que aporta tanto a las empresas como a las personas involucradas en ella [18].

Podría describirse como el conjunto de métodos y prácticas diseñadas para asistir a los individuos en sus tareas repetitivas y habituales, fomentando una colaboración armoniosa entre humanos y máquinas en ciertas actividades. Esta dinámica implica que, a través de la automatización industrial, tanto las empresas como los trabajadores tienen la posibilidad de aumentar su eficiencia y competitividad. Esto se consigue al comprimir los gastos y perfeccionar la calidad de los productos [8].

La automatización de máquinas implica la aplicación de tecnologías, herramientas, sistemas mecánicos y procesos de control para permitir que las máquinas tomen decisiones y trabajen automáticamente. De esta manera, en función de las distintas fases del proceso ajustará las medidas y factores para disminuir la participación humana y mejorar los resultados.

Con la automatización de procesos, las tareas manuales y repetitivas concluyan, y se realicen de manera automática, usando herramientas tecnológicas y software, llegando a reducir tiempo en los ensayos, aumentar la eficiencia de la máquina y la obtención de buenos resultados.

La automatización garantiza una ejecución de pruebas consistente y una recopilación de datos más precisa al controlar automáticamente parámetros como la carga aplicada, la frecuencia de carga, el número de ciclos y otros factores relevantes. Esto no solo acelera el proceso de prueba, sino que también proporciona resultados más confiables y repetibles, estos son fundamentales en la adquisición de decisiones encaminadas con el diseño y fabricación de productos [1].

La automatización de la máquina de fatiga por flexión rotativa es crucial para aumentar la precisión, repetibilidad y eficiencia de los ensayos en materiales sujetos a cargas cíclicas. La precisión, una característica clave de un sensor, se define por su capacidad para ofrecer consistentemente el mismo valor de salida al medir repetidamente el mismo valor de la variante de entrada en condiciones ambientales constante, independientemente de la especificación de la medición. Una alta precisión significa que hay una diferencia mínima entre algunas mediciones y es esencial, aunque no suficiente por sí sola, para lograr alta exactitud. La precisión se puede manifestar de varias maneras, tales como el porcentaje del valor a escala completa, la desviación máxima entre salidas, o el valor cuadrático medio de esta desviación [19].

La precisión está estrechamente ligada a la repetibilidad, la cual se refiere al valor máximo de la diferencia entre varias mediciones realizadas en las mismas condiciones en un breve período de tiempo, con una cierta probabilidad. La figura muestra la curva de calibración que establece el error de repetibilidad [20].

La Figura 12: No linealidad de un sensor, [20].

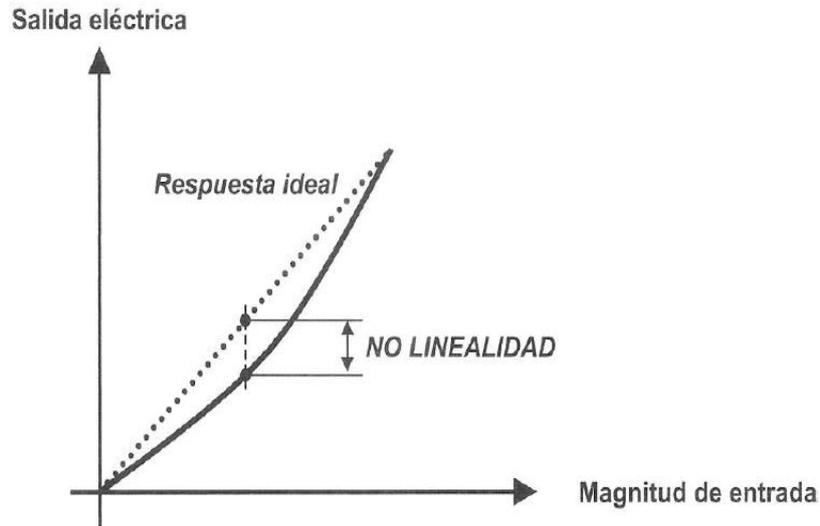


Figura 12: No linealidad de un sensor, [20].

1.6.1 Características de los sistemas de automatización industrial

Mejora la precisión y la consistencia en las labores, ya que las máquinas tienen la capacidad de ejecutarlas de manera más rápida y eficiente, lo que contribuye a elevar la calidad de los productos [19].

Sustituye la mano de obra convencional por profesionales especializados en tecnología para llevar a cabo determinadas tareas. Esto resulta en una producción más eficaz y en productos de mayor calidad [19].

Facilita un mayor control de los procesos de producción. La automatización permite a las empresas supervisar y regular todos los aspectos de sus procesos productivos, lo que facilita la identificación y solución de inconvenientes de forma más efectiva [19].

1.6.2 Etapas de la automatización

Según [21], las etapas de la automatización son las siguientes:

- **Especificación:**
 - Familiarización con el proceso
 - Análisis y determinación de las necesidades
 - Análisis y determinación de las variables a controlar

- **Diseño:**
Selección de tecnología, diseño de esquemas mecánicos.
- **Selección de componentes:**
Controladores, sensores, actuadores, interfaz de usuario.
- **Instalación y configuración:**
Montaje de componentes.
- **Pruebas**
- **Optimización y ajustes**
- **Monitoreo y funcionamiento**

1.6.3 Pasos para la automatización

Un previo diseño de un sistema de automatización es un asunto que va más lejos de una sencilla programación de dispositivos. Existen pasos a seguir para diseñar un sistema de automatización:

Análisis del sistema

Realizar un análisis de riesgos y peligros del sistema comprende las necesidades y objetivos del proyecto.

Se examina el mecanismo, que puede tener varios factores para realizar la respectiva automatización, tras un previo análisis de la máquina se puede detectar que los datos de las pruebas no son tan confiables, además que hay demora al realizar los ensayos y el operador tiende a estar supervisando la mayor parte de la evaluación del material, estos factores serían detectados por el momento, tal vez más adelante presenten otros detalles a considerar y poder corregirlos en el mismo transcurso.

En el tema de riesgos y peligros que puede presentar el sistema, estos disminuirán ya que no tendrá intervención humana y si el caso fuera de que existe un percance se dispondrá de un paro de emergencia.

Criterios y estándares

Define los criterios y estándares que guiarán el diseño. A menudo, estos están predefinidos por normativas o pueden depender del país donde se desarrollará el proyecto.

Existen pautas a seguir para la automatización del mecanismo, como por ejemplo la compatibilidad de los componentes electrónicos y mecánicos que existen en el mercado local, hay una variedad de elementos a considerar, sobre todo con las especificaciones y datos técnicos de los dispositivos, es muy fundamental indagar sobre lo que se está buscando para que al momento de acoplar no presenten inconvenientes. Hay normativas para el material de apoyo que son las probetas que van a hacer evaluadas, por ejemplo, las dimensiones de la probeta van a hacer muy determinantes al momento acoplar a los mandriles que van a sujetar el material.

Especificaciones y hojas de datos de equipos

Definir las especificaciones técnicas y las hojas de datos de los equipos que se utilizarán en el sistema.

El proyecto se basa mediante información técnica, es decir, todas las características van a hacer especificadas mediante fichas técnicas de cada elemento que va incluido, por ejemplo, el controlador lógico programable se piensa trabajar con SIEMENS, hay una variedad de dispositivos y modelos que al momento de obtener el dispositivo que vaya acorde al diseño de la máquina, viene incluido las especificaciones.

Modelos de flujos de información

Diseñar cómo se movilizará la información por todo el proyecto, incluyendo una interfaz de usuario que muestre detalles del ensayo, teniendo interacción entre operador-ordenador.

En la planificación del proyecto se piensa usar un display acorde a las necesidades del controlador, más que todo que sean compatibles.

Análisis de resultados

Detallar cómo se desarrollará el proyecto, incluyendo la lógica de control, los informes y la evaluación de los materiales mediante el ensayo a flexión rotativa.

Diseño detallado

En esta etapa, se crean los planos, paneles y detalles de instalación. Se desarrolla una ingeniería de detalle para implementar el sistema.

Análisis de costos

Definir cómo se implementa el proyecto y se desarrolló los presupuestos necesarios.

1.6.4 Componentes de un sistema de automatización

Los sistemas de control en la automatización realizan comandos y verifican su ejecución, y a veces también regulan el sistema según sea necesario. Estos sistemas utilizan sensores y actuadores para funcionar. En algunos casos, la señal de salida afecta cómo opera el sistema, y en otros no. Esto crea una diferencia entre el sistema lazo abierto y el sistema lazo cerrado [22].

Según [19], los componentes de un sistema de automatización son:

Encoder: Los codificadores rotatorios, comúnmente populares como encoders, son dispositivos utilizados para proporcionar información sobre rapidez y posición del mecanismo de un motor. Es un sensor electromecánico que obtiene un código digital a partir de una posición angular de un eje [23].

Un encoder incremental emplea un único canal de salida para funciones en las que el sentido de la dirección del movimiento no es relevante. La salida de un encoder incremental refleja el movimiento. Para determinar la posición, es necesario que los pulsos sean contabilizados por un contador. Sin embargo, el conteo puede perderse durante una interrupción de energía o corromperse debido a transitorios eléctricos. Al comenzar, el dispositivo debe ser orientado hacia una posición de arranque para contabilizar los puntos de posición [23].

PLC: Actúa como un "cerebro" pues controla los dispositivos de la máquina para llevar a cabo funciones que podrían ser peligrosas para el usuario o inexactas si se hicieran manualmente. El PLC funciona de manera similar a una computadora, con componentes principales como el CPU, memoria RAM, fuente de poder y programador, para que el PLC opere, es crucial programarlo previamente para la tarea que va a desempeñar [24].

Final de carrera: También denominado interruptor o switch de límite, es un dispositivo crucial en aplicaciones industriales que utiliza una integración de elementos mecánicos y eléctricos para identificar la posición o el límite de movimiento de un objeto. Este dispositivo es esencial en sistemas automatizados, ya que proporciona información precisa sobre la ubicación de partes móviles, lo que permite controlar y limitar su movimiento de manera segura y eficiente [25].

El funcionamiento del final de carrera se basa en la interacción mecánica entre el objeto en movimiento y el interruptor. Cuando el objeto alcanza una posición predeterminada, active el interruptor de límite, que a su vez envía una señal eléctrica al sistema de control. Esta señal

puede iniciar, detener o modificar una operación específica, garantizando que el equipo funcione dentro de parámetros seguros y preestablecidos. El uso de finales de carrera es fundamental para evitar daños a la maquinaria y garantizar la seguridad del personal, ya que previene movimientos no deseados [25].

Actuador: Es un dispositivo que convierte las señales eléctricas del mecanismo de control en acciones mecánicas que impactan en el sistema, puesto que el motor transforma la corriente eléctrica en corriente mecánica para ejecutar una tarea [26].

También se requieren componentes eléctricos pues son aquellos dispositivos que interactúan con la energía eléctrica para realizar funciones específicas, ya sea transformándola en otra forma de energía o facilitando su transporte a través de un circuito. Estos elementos son fundamentales en una variedad de aplicaciones, desde la reproducción y distribución de energía hasta el funcionamiento de dispositivos electrónicos de consumo [27].

Componentes eléctricos y electrónicos para considerar en la automatización son:

Fuente de poder suministra energía eléctrica y regulada a todos los componentes de la máquina, por ejemplo el LOGO, los sensores, la pantalla HMI y el actuador [27].

Luces piloto: Indican el estado del sistema (encendido, apagado, en error, en funcionamiento, etc.) [27].

Protecciones eléctricas: Interruptor para proteger contra sobre corrientes y cortocircuitos [27].

Para el diseño de los componentes eléctricos se requiere un análisis previo mediante fórmulas y cálculos:

Cálculo de intensidad nominal:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} \quad (9)$$

P = potencia con unidad de Watt

I = corriente con unidad de Amperios

V = voltaje con unidad de Voltios

$\text{Cos}\phi$ = factor de potencia

Cálculo de interruptor termomagnético:

$$IT = \text{Intensidad Nominal} * 1.2 \quad (10)$$

Cálculo del contactor:

$$\text{Contactor} > \text{Intensidad Nominal} \quad (11)$$

Cálculo de relé térmico:

$$\text{Relé} = \text{Intensidad Nominal} \quad (12)$$

No necesariamente tiene que ser igual, porque los valores calculados no van a hacer enteros o exactos a la de los componentes que sus especificaciones vienen incluidas en una ficha técnica, entonces lo que se hace es seleccionar un rango aproximado de valores.

Selección del número cable:

La elección del cable es de acuerdo con la intensidad nominal que se proporciona mediante los datos técnicos del motor.

1.6.5 Sistemas de adquisición de datos

Desde un punto de vista técnico, la recopilación de datos implica tomar información de eventos físicos del entorno y mediciones de las magnitudes provenientes de sensores, transformadas a un formato compatible para su respectivo procedimiento [28].

Desde otra apreciación, en la teoría general de sistemas, es un procedimiento de modo manual o automático, que rodea máquinas, personas y metodologías establecidas para integrar, transferir, procesar y extender datos que muestran la información hacia el usuario [29].

Prácticamente, los sistemas de recopilación, transmisión y adquisición de información de datos son particularmente importantes para implementar aplicaciones y software que monitorean y controlan las operaciones de la máquina [29].

CAPÍTULO II

Diseño de la automatización de la máquina

Se puntualiza en este capítulo el diseño de los componentes mecánicos y electrónicos que conforman el mecanismo, incorporando la selección de materiales adecuados para cada elemento de acuerdo a su función específica.

- Logo PLC
- Encoder
- Fuente
- Breakers
- Contactor
- Pulsadores
- Luces piloto
- Guardamotor

Solidworks fue seleccionado como software para el diseño mecánico del sistema debido a sus capacidades para crear modelos 3D y realizar simulaciones funcionales, lo que permite optimizar el proceso de diseño y reducir costos de construcción.

LOGO!Soft Comfort V8.3 ofrece un entorno de programación intuitivo y sencillo de aprender, incluso para usuarios con poca experiencia en programación.

Su lenguaje de programación basado en bloques lógicos facilita la creación de programas robustos y eficientes. Esto permite a los ingenieros y técnicos enfocarse en la lógica de control de la máquina, sin perder tiempo en complejidades de programación.

LOGO!Soft Comfort V8.3 se integra a la perfección con otros productos de Siemens, como los controladores PLC, facilitando la creación de soluciones de automatización completas y optimizadas.

La elección de este software, para la automatización de la máquina a fatiga por flexión rotativa es ideal porque presenta soluciones a necesidades como control de entradas y salidas analógicas y digitales, temporizadores y contadores, comunicación con dispositivos externos, manejo de datos, visualización de interfaces de usuario, garantizando un proyecto exitoso.

2.1 Generalidades del sistema

La Tabla 1: Especificaciones de parámetros a considerar.

2.1.1 Especificaciones de la máquina

Tabla 1: Especificaciones de parámetros a considerar

Parámetros	Especificaciones
Capacidad de carga	294 N·m
Rango de velocidad de rotación	Hasta 3000 RPM
Precisión de medición	±3.5%.

2.1.2 Proceso de la automatización

Implica la creación de un sistema de control integrado que habilite operar la máquina de forma automática y eficiente. Este sistema debe cumplir con los siguientes objetivos:

Control de los parámetros de ensayo

El sistema debe permitir establecer y controlar los parámetros de ensayo, como la carga aplicada, el número de revoluciones y la duración del ensayo.

Esto debe hacerse con precisión y confiabilidad para asegurar la precisión de los datos obtenidos en las pruebas.

Adquisición y registro de datos

El sistema debe registrar los datos de los sensores de la máquina, como la carga, los ciclos de vida de la probeta hasta alcanzar la fractura de esta.

Estos datos deben almacenarse y procesarse para su análisis posterior.

Monitoreo y control del sistema de ensayo

El proceso debe proporcionar una interfaz visual que posibilite al usuario supervisar la progresión del ensayo en tiempo real [21].

El usuario también debe poder intervenir en el proceso de ensayo si es necesario.

Seguridad

El sistema debe incorporar medidas de seguridad para proteger al operario y al equipo de posibles daños. Esto incluye funciones como la parada de emergencia y la detección de fallas.

2.2 Diseño del sistema

Para lograr estos objetivos de acuerdo con el proceso de la automatización, el diseño del sistema debe incluir los siguientes componentes:

2.2.1 Controlador

Es responsable de recibir los comandos del usuario, procesar los datos de los sensores y controlar los actuadores de la máquina. El controlador puede ser una computadora personal, un microcontrolador o un PLC (Programmable Logic Controller) [30].

Prácticamente el controlador es el cerebro del sistema de automatización, este dispositivo es quien va a recibir señales eléctricas de los otros componentes y va a ser determinante al momento de actuar, es decir va a realizar la operación que se le asigne por medio de la respectiva programación.

El proyecto cuenta con un controlador LOGO SIEMENS 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA124RCE para su gestión y control. En la Figura 13: Partes del LOGO SIEMENS [31].

2.2.2 Partes del LOGO

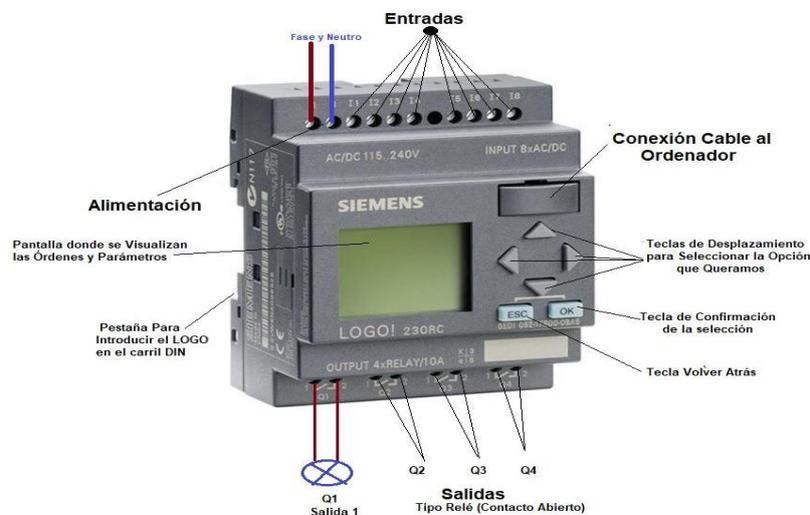


Figura 13: Partes del LOGO SIEMENS [31].

A continuación, la Tabla 2: Partes y funciones LOGO SIEMENS 12/24 RCE, se muestra detalladamente las características que presenta este controlador:

Tabla 2: Partes y funciones LOGO SIEMENS 12/24 RCE

Partes	Funciones
Entradas (I)	Conexión a fase o a neutro.
Salidas (Q)	Un extremo va a fase y el otro a neutro.
Tecla OK	Validar una opción.
Tecla ESC	Retroceder una pestaña.
Pantalla	Visualización de opciones que ofrece el PLC.
Puerto Cable	Conexión entre PLC y Ordenador.
Teclas Desplazamiento	Para elegir y/o buscar una opción de preferencia.

En las terminales de alimentación consta de fase y neutro porque este funciona con corriente alterna. Al decir LOGO 230RCE trabaja con una alimentación de 110 o 220 (V).

Consta de 8 entradas que se representan con la letra (I) y se puede hacer uso de interruptores, pulsadores, sensores de presión, de movimiento, de luz, entre otros. Su finalidad es enviar o mandar una señal eléctrica al cerebro que es el PLC.

Las salidas que son 4 y se representan con la letra (Q) no necesariamente pueden ser luces, también pueden ser pistones neumáticos, hidráulicos, incluso motores de corriente continua, alterna, monofásicos, trifásicos de todo tipo de motor.

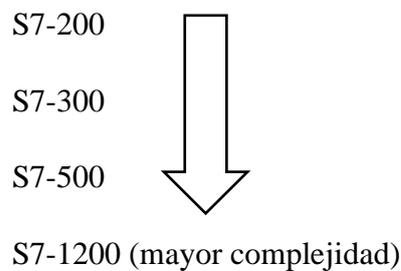
Entonces el PLC que está compuesto por dispositivos electrónicos que en su interior contiene una memoria que es donde se almacena el programa.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se lo puede interpretar en una manera elemental de la siguiente manera:

En un sentido básico, un pulsador (entrada) al ser accionado envía la señal eléctrica al LOGO y el controlador va a encender el motor (salida), así es como funciona el controlador lógico programable.

De acuerdo con [32], el controlador depende de la aplicación que se le vaya a dar, existen las siguientes series:

SIEMENS Logo (más básico)



Las aplicaciones del logo dentro de la ingeniería industrial aplican en máquinas y procesos industriales pequeños, podrá ser básico dentro de la escala mostrada pero ideal para el uso que se le va a dar.

Este LOGO Siemens 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA1 tiene información primordial y en la Tabla 3 cuenta con características técnicas:

Tabla 3: Datos técnicos del LOGO [24]

Datos	Descripción
Display	Si
Fuente de alimentación	12/24 V AC/relé
Entradas	8 entradas digitales
Salidas	4 salidas digitales
Almacenamiento	400 bloques
Ethernet	Si / LAN
Memoria	Tarjeta micro SD estándar
Temperatura	-40°C / +70°C
Dimensiones	h=90 mm, w=71.5 mm, d=60 mm

2.2.3 Programación del LOGO

Se puede programar interna y externamente.

Internamente se puede diseñar dentro del LOGO con los botones del mismo, prácticamente es manual.

De forma externa se refiere a que se puede conectar un cable desde el controlador hacia una computadora, entonces el programa se diseña en el ordenador y una vez terminado se lo transmite al LOGO.

En base a los objetivos planteados del proyecto se requiere de la programación externa, ya que se crea una interfaz para que el usuario interactúe y la elaboración del programa que por medio del software LOGO! Soft Comfort V8.3 se lo diseña y se lo almacena en la memoria del controlador lógico programable.

2.2.4 Sensores

Para la segunda etapa que son los sensores, teniendo en cuenta que la fase anterior trata del controlador, hay que tener en consideración que:

Los datos de los sensores son enviados al LOGO para su procesamiento.

Pasando a lo práctico, se realizará varias pruebas con diferentes tipos de material, para dar fiabilidad a los valores obtenidos por medio del sensor y aplicando repeticiones en los ensayos se determinará una conclusión, la cual será si los valores obtenidos son erráticos, estos varían mucho o correctos si son iguales o aproximados.

Una vez mencionada la metodología del ensayo, se da paso a una definición sobre este elemento:

Un sensor es un dispositivo creado para captar datos externos sobre una medida física o química y convertirlos en señales electrónicas que puedan ser interpretadas por un controlador [33].

La variedad de sensores disponibles en la actualidad es amplia, pero para los propósitos de este proyecto, están los siguientes:

2.2.4.1 Sensor rotativo incremental

Codificador rotatorio o encoder, son dispositivos electromecánicos usados para proporcionar información sobre la rapidez y posición en este caso de un motor [23].

Los encoders son sensores rotativos o lineales que convierten el movimiento mecánico en señales eléctricas. Estas señales pueden ser utilizadas por controladores, como el PLC, para medir la posición, velocidad o dirección del movimiento.

Para determinar la posición o el número de vueltas, es necesario que los pulsos sean contabilizados por un contador. Sin embargo, el conteo puede perderse durante una interrupción de energía o corromperse debido a transitorios eléctricos. Al comenzar, el dispositivo debe ser orientado hacia una posición de arranque para contabilizar los puntos de posición [23].

Entonces la información que capta el sensor es la del número de ciclos, actuando como un contador, entregando un valor al que está sometida la probeta cuando llega a la fractura.

El proyecto cuenta con un encoder rotativo incremental Figura 14: Encoder HEIDENHAIN ERN 420 [34]. para su respectiva gestión. En la siguiente figura se puede apreciar el encoder:



Figura 14: Encoder HEIDENHAIN ERN 420 [34].

Este sensor electromecánico que obtiene un código digital a partir de una posición angular de un eje al cual va acoplado al motor para que pueda realizar la respectiva función que es el de un contador, para llegar a obtener el dato del número de ciclos al cual llega a fracturarse el material, prácticamente midiendo parámetros físicos de la máquina.

Se detalla especificaciones técnicas sobre este tipo de encoder Tabla 4: Datos técnicos del Encoder ERN 420 [35]

Tabla 4: Datos técnicos del Encoder ERN 420 [35]

Datos	Descripción
Señal de salida	TTL
Resolución (pulsos por vuelta)	1024 PPR
Alimentación	5 V (+-10%)
Frecuencia máxima de muestreo	300 kHz
Protección	IP 64
Temperatura de trabajo	-40°C / +100°C
Conexión eléctrica	M23-SpeedTEC / Clavija / 12 pines
Asignación de conexión	D331867
Longitud del cable	0.35 m

Figura 15: Partes internas del encoder [36].

2.2.4.2 Partes del encoder

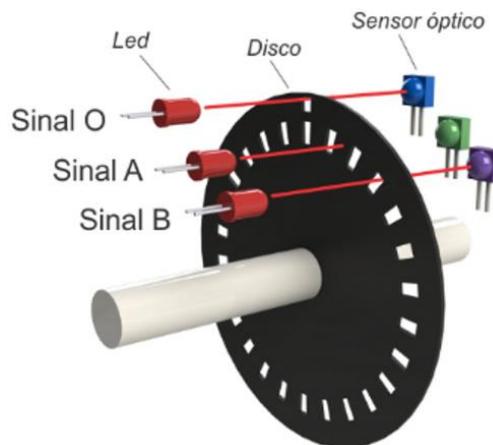
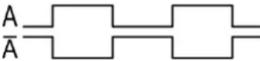


Figura 15: Partes internas del encoder [36].

En la Tabla 5: Especificaciones internas del Encoder ERN 420 [36].

A continuación, se muestra detalladamente las características físicas que presenta este sensor.

Tabla 5: Especificaciones internas del Encoder ERN 420 [36].

Componentes	Funciones
Led	Diodo que al aplicarse una corriente eléctrica emite luz hacia el disco óptico.
Disco	Marcado con un patrón de ranuras que interrumpen la luz de manera precisa.
Sensor óptico	Funciona en conjunto con el disco óptico. Detecta los pulsos de luz que pasan a través de las ranuras.
Señal O (o Z)	Señal de referencia. Es un pulso único que se genera una vez por cada revolución completa del eje.
	
Señal A	Indica la posición relativa y velocidad del movimiento.
	
Señal B	Complementa la señal A para determinar la dirección del movimiento.
	

El funcionamiento del encoder de acuerdo con las especificaciones es de la siguiente manera:

Un LED que representa la fuente luz, emite o envía luz hacia el disco óptico que consta con un patrón de ranuras o rejillas las cuales interrumpen la luz de manera precisa, al pasar luz por las ranuras llegan a los fotodetectores que son los sensores ópticos, los que detectan los pulsos de luz, entonces cada pulso de luz detectado se convierte en una señal eléctrica individual, llegando a su procesamiento de señal por su electrónica interna del encoder procesa las señales eléctricas generadas por los sensores ópticos para determinar la posición, velocidad o dirección del movimiento, en este caso se optaría por la opción de la señal de referencia que es O (o Z) para que detecte el número de vueltas que da el mecanismo.

Un detalle para tener en cuenta es que la densidad de estas ranuras determina la resolución del encoder.

Es decir, cuando se habla de la densidad es sobre la cantidad de ranuras presentes por unidad de longitud en el disco óptico, se expresa típicamente en pulsos por revolución (PPR). En cambio, la resolución del encoder, se define como la mínima cantidad de movimiento que puede detectar y medir. Se expresa generalmente en unidades de distancia por pulso.

2.2.5 Sensor final de carrera

Con la ayuda de un final de carrera, Limit Switch LL – CA2 se determina el estado del ensayo, mientras la probeta de prueba se encuentra en su sitio el sensor proporciona un estado 1 lógico al LOGO, una vez finalizado el ensayo, es decir, cuando se llega al punto de fractura de la probeta el switch proporciona un 0 lógico al LOGO, enviando una señal de apagado al motor automáticamente.



Figura 16: Limit Switch LL – CA2, [37]

El final de carrera tiene contactos normalmente abiertos y cerrados son para el paso de señales eléctricas, alimentación y sensor de contacto.

La tabla indica algunas especificaciones del sensor LL - CA2:

Tabla 6: Datos técnicos del Limit Switch

Parámetros	Especificaciones
Fuente de alimentación	CA 250 V 10 A, CC 125 V 0,8 A
Temperatura de trabajo	-5°C hasta 65°C
Configuración de contactos	1 NC + 1 NO

2.2.6 Actuadores

Son componentes en máquinas y dispositivos que requieren movimiento, funcionan convirtiendo diferentes formas de energía como la eléctrica, neumática o hidráulica en fuerza mecánica o movimiento, prácticamente son los encargados de generar movimiento a la máquina de ensayos a fatiga por flexión rotativa[38].

Por cierto, el tipo de actuador es eléctrico, ya que sus componentes requieren y trabajan con pulsos y señales eléctricas para poder actuar ante la acción que se pretenda realizar.

El actuador que se va a utilizar es un motor de modelo MABE AQUASAVER 189D4153P002, como se indica en la figura 17:



Figura 17: Modelo de motor MABE, [39]

Este motor viene acompañado de una Figura 18: Base Transmisión, para dar movimiento al eje lo que facilita el acoplamiento de estos elementos, en la figura se muestra:



Figura 18: Base Transmisión

Como se aprecia en la Tabla 7: Datos técnicos del motor AQUASAVER [39] en base a su corriente nominal se empieza a trabajar para la selección de los demás elementos.

Las generalidades que maneja este modelo de motor son:

Tabla 7: Datos técnicos del motor AQUASAVER [39]

Especificaciones	Parámetros
Motor	AC, monofásico
Factor Potencia	1/3 HP, 244 W
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	120 V
Intensidad	3.5 A
Eficiencia	$\eta = 58\%$

El papel que cumple el actuador dentro del sistema de diseño de la máquina es que el controlador envía señales a los actuadores para inspeccionar la posición y la velocidad de la máquina.

Los motores monofásicos trabajan con un bajo factor de potencia, esto se demuestra a través de un despeje de la ecuación (9):

$$I = \frac{P}{V \cdot \text{Cos}\varphi} \quad (9)$$

$$\text{Cos}\varphi = \frac{P}{V \cdot I}$$

$$\text{Cos}\varphi = \frac{\frac{746}{3} [W]}{120 [V] \cdot 3.5 [A]}$$

$$\text{Cos}\varphi = 0.60$$

El dato de la intensidad de corriente del motor es muy necesario para determinar que dispositivos son seleccionados para el sistema de potencia y protección se lo calcula mediante la ecuación (9):

$$I = \frac{P}{V \cdot \text{Cos}\varphi}$$

$$I = \frac{248 [W]}{120 [V] \cdot 0.60}$$

$$I = 3.45 [A]$$

Está demostrado que el valor real como el valor mediante un análisis de cálculo no varía mucho:

$$\text{Valor real del motor} = 3.5 [A]$$

$$\text{Valor analítico calculado} = 3.45 [A]$$

Al tener planteado ya los componentes, el funcionamiento va de la siguiente forma:

En la máquina de ensayos, los sensores, el actuador y el controlador lógico programable trabajan en conjunto para realizar las pruebas de manera precisa y controlada. Existe un acople en el sistema de transmisión con el motor, que es un eje, el cual también sirve para integrar el encoder en la parte inicial del eje va este sensor, siendo el dispositivo que actúa como un contador, seguido va el motor con poleas incluido su sistema de transmisión, el eje tiene cojinetes los cuales sirven para dar movilidad al eje a través de las revoluciones que da el motor, en los cojinetes van acoplados unos pequeños mandriles donde se sujetan las probetas,

perpendicularmente va el sensor final de carrera en la parte de debajo de la placa donde va el peso y es quien va a detectar si la probeta llega a fracturarse, concluyendo con el ensayo.

2.2.6.1 Motor activador de embrague

Este motor de modelo DC31-20014C tiene la función de frenar la transmisión cuando el material llega a fracturarse, está acoplado al motor general a una palanca y a la base de transmisión.

En la Figura 19: Motor LEILI DC31-20014C, [40] muestra que es un actuador de modelo LEILI MOTOR CHINA con serie DC31-20014C:



Figura 19: Motor LEILI DC31-20014C, [40]

2.2.7 Componentes electrónicos y eléctricos

Fuente

Cualquier sistema electrónico requiere energía para funcionar correctamente. La fuente de alimentación se faculta de convertir el voltaje alterno proveniente (red eléctrica doméstica) en un voltaje continuo que el circuito o equipo puede utilizar. Las fuentes conmutadas logran esta conversión utilizando transistores que alternan rápidamente, ofreciendo alta eficiencia, un tamaño reducido y un costo bajo.

Con respecto a la selección de la alimentación es una fuente genérica S-120-24 conmutada, como se muestra:



Figura 20: Fuente de poder S-120-24, [41]

Los 24 V de la fuente ayuda en la alimentación para el LOGO, pulsadores e indicadores y el selector.

Especificaciones de la fuente de poder:

Tabla 8: Detalles primordiales de la fuente [42].

Especificaciones	Parámetros
Tecnología	Fuente conmutada
Rango (ingreso)	100 V – 220 V / AC
Frecuencia	50 – 60 Hz
Potencia	120 W
Salida	24 V / DC
Amperaje	5 A
Temperatura de trabajo	0°C a 60°C

Relé térmico

Es un dispositivo de protección eléctrica fundamental para motores eléctricos, cumpliendo con la función de preservar su integridad y prevenir daños causados por sobrecargas.

Cálculo de relé térmico:

$$\text{Relé} = \text{Intensidad Nominal} \quad (12)$$

$$\text{Relé} = 3.5 [A]$$

El componente de protección es el Chint NXR-38-320 a continuación, se muestra el modelo acompañado de sus partes:



Figura 21: Relé térmico Nxr-38, [43].

El rango de corriente que se muestra en la figura 22 está dentro del parámetro según el cálculo realizado para la selección del relé térmico.

appearance	Rated current A
 <p>NXR-12</p>	0.1~0.16
	0.16~0.25
	0.25~0.4
	0.4~0.63
	0.63~1
	1~1.6
	1.25~2
	1.6~2.5
	2.5~4
	4~6
	5.5~8
	7~10
9~12	

Figura 22: Parámetros de corriente del relé térmico, [44].

Contactor

Actúa como un interruptor automático controlado por una señal eléctrica de menor potencia, permitiendo el paso de corrientes elevadas a través de sus contactos.

El contactor es el modelo EBASEE EBS1C-2510, ver la Figura 23: Contactor EBS1C-2510, [45].:



Figura 23: Contactor EBS1C-2510, [45].

Se toma una consideración y es el acople entre el contactor y el relé térmico, este acople asegura una conexión firme y confiable entre estos elementos, garantizando una transmisión segura de

la señal de control y evitando interferencias o fallos de funcionamiento. La unión de estos componentes permite montar el relé térmico directamente sobre el contactor, eliminando la necesidad de soportes adicionales o cableado complejo. Simplificando la instalación y reduciendo el tiempo de montaje, especialmente en paneles de control con espacio limitado.

Cálculo del contactor:

El amperaje del contactor tiene que ser mayor a la de la intensidad nominal.

$$\text{Contactor} > \text{Intensidad Nominal} \quad (11)$$

$$\text{Contactor} > 3.5 [A]$$

La característica del contactor es que su corriente es mayor a la intensidad nominal.

Los parámetros que posee este contactor son los siguientes:

Tabla 9: Características del contactor EBS1C-2510 [45]

Especificaciones	Parámetros
Número de polos	3
Amperaje	Hasta 95 A
Frecuencia	50 a 60 Hz
Temperatura de trabajo	75°C
Voltaje	120 V / AC

Disyuntor

También conocido como el interruptor diferencial es un dispositivo crucial para salvar a las personas frente a descargas eléctricas. Su función principal es detectar cualquier diferencia de corriente entre la entrada y la salida, lo que indica la presencia de una fuga de corriente potencialmente peligrosa. Este dispositivo actúa en coordinación con las tomas de tierra de todos los componentes de la instalación eléctrica, asegurando una protección integral.

El mecanismo de funcionamiento del interruptor diferencial es sencillo pero efectivo: compare constantemente la intensidad de la corriente que fluye hacia el circuito con la que regresa. Si detecta una discrepancia, es decir, si la corriente de retorno es menor que la de entrada, el dispositivo interrumpirá automáticamente el suministro eléctrico. Esta acción rápida y precisa evita que las personas sufran descargas eléctricas al tocar partes conductoras que han sido accidentalmente energizadas, proporcionando una capa crucial de seguridad.

Para realizar el cálculo del interruptor termomagnético (IT), se aplica la siguiente ecuación:

Cálculo de interruptor termomagnético:

$$IT = Intensidad Nominal \cdot 1.2 \quad (10)$$

$$IT = 3.45 \cdot 1.2$$

$$IT = 4.2 [A]$$

El (IT), cuenta con un la facilidad de accionamiento al apagar el disyuntor, por seguridad.



Figura 24. Disyuntor Schneider [46].

Tabla 10: Ficha técnica del Disyuntor Schneider, es hasta 20 A, hay que tener en cuenta que para la selección de este dispositivo no necesariamente tiene que ser el valor calculado sino buscar que este dentro del rango.

Tabla 10: Ficha técnica del Disyuntor Schneider

Especificaciones	Parámetros
Número de polos	2
Intensidad nominal	20 A
Frecuencia	50 a 60 Hz
Temperatura de trabajo	-5°C a 60°C
Voltaje	220 V / AC

Pulsadores

Controla el funcionamiento de máquinas y equipos en diversos entornos industriales.

Pulsadores para iniciar y detener el proceso de la automatización en caso de que suceda algún percance con la interfaz de usuario, cuenta con el modelo Chint NP2 en colores rojo y verde, como lo demuestra la figura:



Figura 25: Pulsadores metálicos NP2, [47].

Selector

Elemento que actúa como un interruptor y su función es dar paso de voltaje a la fuente, es como encender y apagar el sistema.



Figura 26: Perilla on – off, [48]

Luces piloto

Indicadores luminosos, son componentes eléctricos que proporcionan señales visuales para informar sobre el estado de funcionamiento, la presencia de voltaje, la existencia de errores o la activación de procesos específicos en la máquina de ensayos ubicados en el tablero de control. Los indicadores son Chint Led 22mm 220V, con en la figura lo indica:



Figura 27: Luces piloto Chint, [49].

Para todos estos componentes la unión será por medio de cable número 12, los elementos como el PLC, el contactor, el relé térmico y la fuente serán organizados en un tablero de 30 cm x 30 cm para una mayor organización y una estética adecuada para la visualización del usuario.

Para la selección del cable existe una relación cable vs amperaje con respecto al cable se selecciona el número 12, en la figura 25 se aprecia mejor la relación:

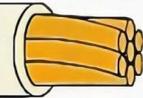
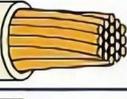
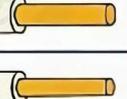
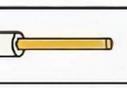
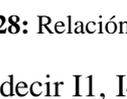
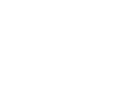
Calibre 3/0		200 Amps. Servicio de entrada
Calibre 1/0		150 Amps. Servicio de entrada y cable de alimentación
Calibre 3		100 Amps. Servicio de entrada y cable de alimentación
Calibre 6		55 Amps. Cable de alimentación y equipo grande
Calibre 8		40 Amps. Cable de alimentación y equipo grande
Calibre 10		30 Amps. Secadores, aparatos y aire acondicionado
Calibre 12		20 Amps. Lavandería, electrodomésticos y baño
Calibre 14		15 Amps. Circuitos en general, iluminación

Figura 28: Relación cable – amperaje, [50].

Cable 16 se usa para las señales es decir I1, I4, I5 e I6 y cable número 12 para los elementos, guardamotor, contactor, breaker.

Proceso del sistema

En el encendido y señal de inicio el controlador lógico programable recibe energía de la fuente de alimentación, activando sus circuitos internos, el operador acciona el pulsador de inicio, enviando una señal eléctrica al LOGO, activando el contactor y arranque del motor, el LOGO procesa la señal de inicio y envía una señal de control al contactor que cierra sus contactos principales, habilitando el flujo de corriente hacia el motor que comienza a girar, impulsando el movimiento de los otros elementos, el relé térmico que está conectado al contactor, monitorea la corriente que circula por el motor, detectando posibles sobrecargas, el encoder registra la velocidad y posición del motor, enviando información al LOGO. Con respecto al estado de la máquina las luces piloto indican la condición de esta, el botón verde indica que el motor está en funcionamiento, el rojo detención del motor, entonces el controlador recepta la señal de paro y manda una señal al contactor que abre sus contactos principales, interrumpiendo la corriente

al motor que se detiene gradualmente, en caso de un inconveniente el usuario presiona la perilla que quita el paso de voltaje de la fuente de 12 V actuando como un interruptor.

2.3 Software de control

El software de control es el programa que se ejecuta en el controlador para automatizar la operación de la máquina.

El software incluye funciones para controlar los parámetros de ensayo, adquirir y registrar datos, monitorear el proceso de ensayo y garantizar la seguridad.

En el LOGO!Soft Comfort, el método que se va a implementar es la programación de diagrama de bloques, un lenguaje de programación gráfico ampliamente utilizado en la automatización industrial, especialmente para programar controladores lógicos programables.

Estos diagramas se basan en esquemas de bloques que representan circuitos eléctricos reales, lo que lo hace intuitivo y un poco más simple de entender, incluso para usuarios que no están constantemente en el ámbito de la programación, además usa símbolos gráficos simples y lógicos para representar las entradas, salidas, instrucciones y variables.

Para entender el esquema de programación, se empieza identificando los componentes de diseño, las entradas y salidas que componen este lenguaje gráfico, en la tabla 11 detalla lo siguiente:

Tabla 11: Elementos de diseño que integra el sistema de automatización [16].

Conector	Rotulación
I1	Marcha
I4	Paro
I5	Sensor final de carrera
I6	Encoder
Q1	Motor
Q2	Indicador verde
Q3	Indicador rojo

La figura indica la programación a través de Diagrama de Bloques:

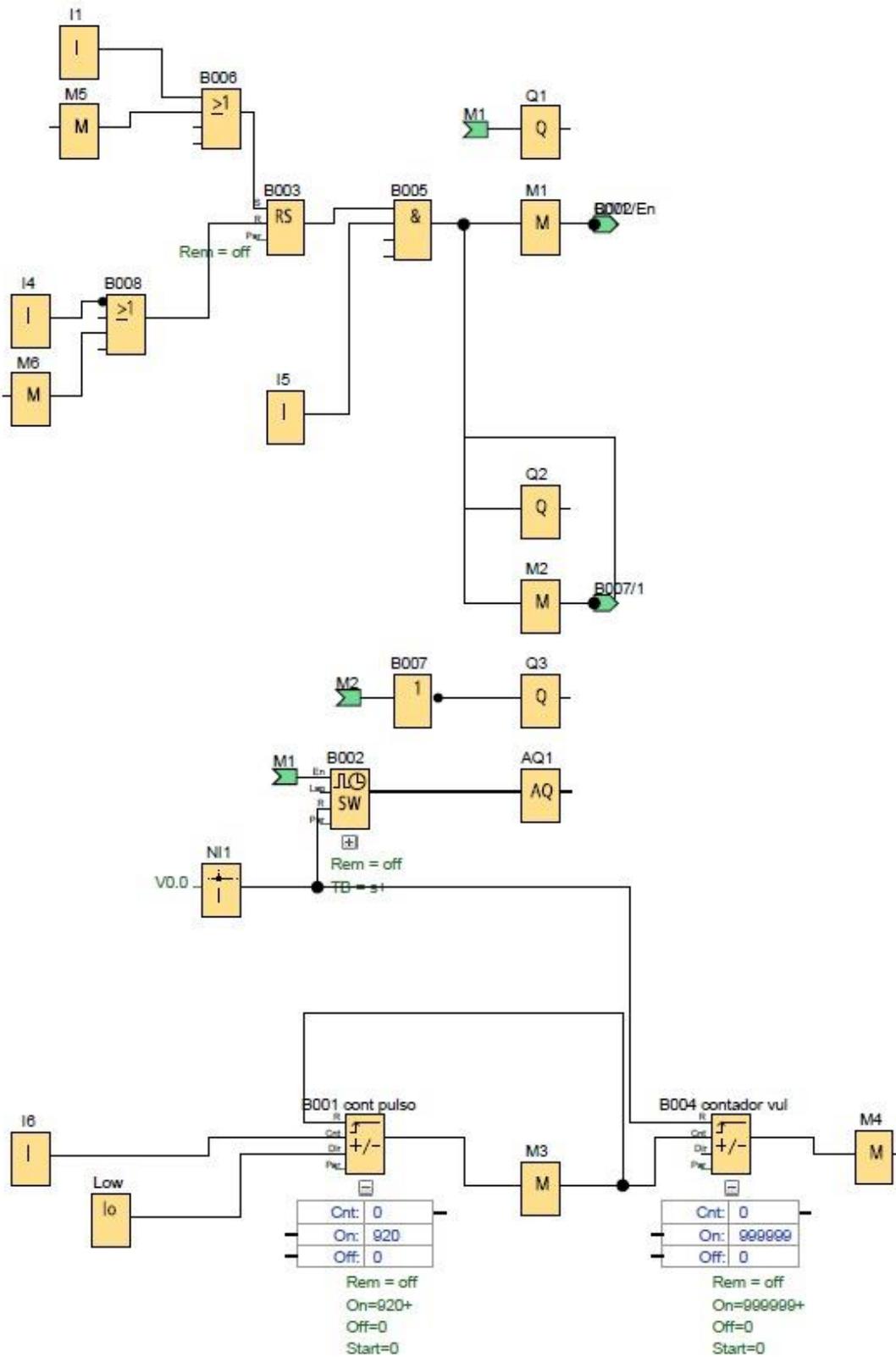


Figura 29: Programación Diagrama de Bloques del sistema de automatización, [16].

2.3.1 Funcionamiento del diagrama de bloques

Parte de un pulsador de inicio (I1), acompañado de un botón de encendido de la pantalla en la interfaz (M5), van dirigidos a una función OR. Esto significa que se puede iniciar el proceso tanto por medios físicos como virtuales. Ambos llegan a un relé auto enclavador que da una señal, permitiendo alcanzar un bloque con la función AND. Este bloque funciona como si estuviera en serie, indicando que si (I1), (M5) e (I5) están activos, la memoria puede dar paso al encendido del motor.

Para el apagado del motor, se utilizan elementos como (I4), que actúa como paro de la máquina, y (M6), que es el pulsador virtual en caso de que ocurra algún problema con el botón físico. Este último está ubicado en la interfaz como un botón rojo, y, si la interfaz no está disponible, se puede proceder desde el tablero de control.

La programación incluye un cronómetro que se activa al pulsar el botón verde. Este cronómetro brinda el dato del tiempo, que está en segundos, permitiendo tener una referencia respecto a los ensayos que se realicen. También existe una entrada virtual que ayuda a dar una señal al mapeado virtual en el programa, presente en la interfaz, para resetear valores y continuar con las pruebas.

Finalmente, la presencia del encoder (I6) con una capacidad de 1024 pulsos es crucial. Este valor representa su capacidad de medición y su función es detectar las revoluciones a las que está sometida la probeta. En el diagrama de bloques, el encoder se acompaña de otro contador, pues el encoder da 1024 pulsos por vuelta, y lo que realmente se aplica o necesita son las revoluciones por minuto. Estos datos son clave para la optimización de la máquina.

El esfuerzo que se aplica se logra a través de los pesos, los cuales representan una carga aplicada a la probeta. Junto con los ciclos, esto basta para determinar la curva esfuerzo-vida. Los contactos normalmente cerrados, como el relé térmico (I3) y el final de carrera (I5), permiten el paso de energía. Cuando se activan, abren sus contactos, cortando el flujo de energía. Por ejemplo, si se activa el relé térmico, se corta la energía y el motor se detiene.

Estos contactos, ubicados en la primera línea, llegan hasta un pulsador (I1) que actúa como un botón de marcha. Cuando se pulsa, envía la señal al motor y lo activa. El pulsador (I1) viene acompañado de una memoria (M1) para realizar un enclavamiento, de manera que el pulsador

(I1) permanezca activado, encendiendo la luz piloto verde (Q2) y el motor (Q1). El motor está conectado a un temporizador (T002) para que, cuando arranque, comience a correr el tiempo.

Existe otro enclavamiento relacionado con el paro de emergencia y la luz piloto roja, los cuales detienen el motor en caso de ser activados. Otra forma de parar el motor es mediante el final de carrera, que actúa como un sensor. Cuando detecta que la probeta llega a la fractura, la placa cae, el sensor lo detecta y el motor se detiene.

2.3.2 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es la forma en que el usuario interactúa con el sistema de automatización. Puede ser una interfaz gráfica de usuario (GUI) o una interfaz de línea de comandos (CLI).

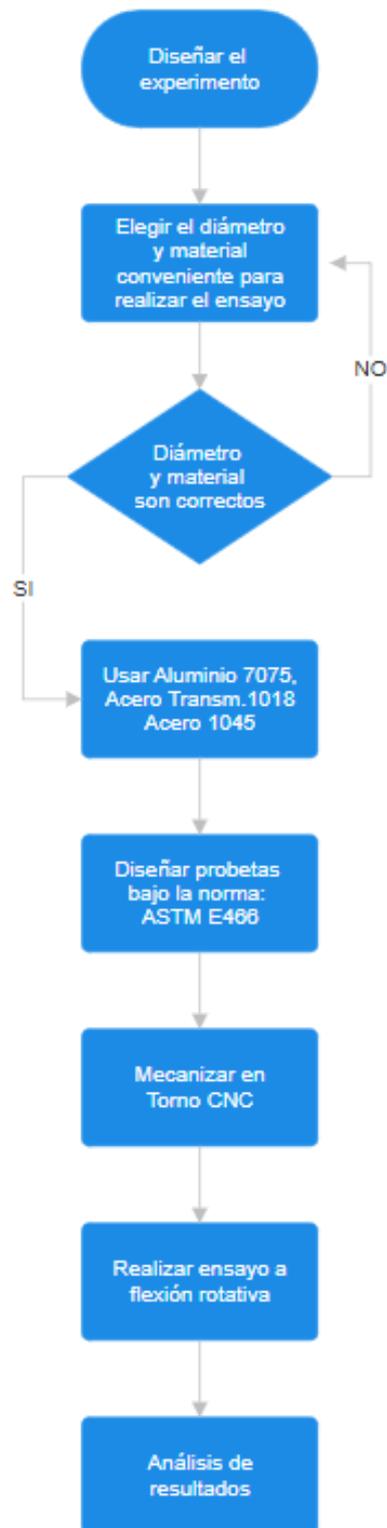
La interfaz de usuario debe ser fácil de usar e intuitiva para que el usuario pueda operar la máquina de manera eficiente.



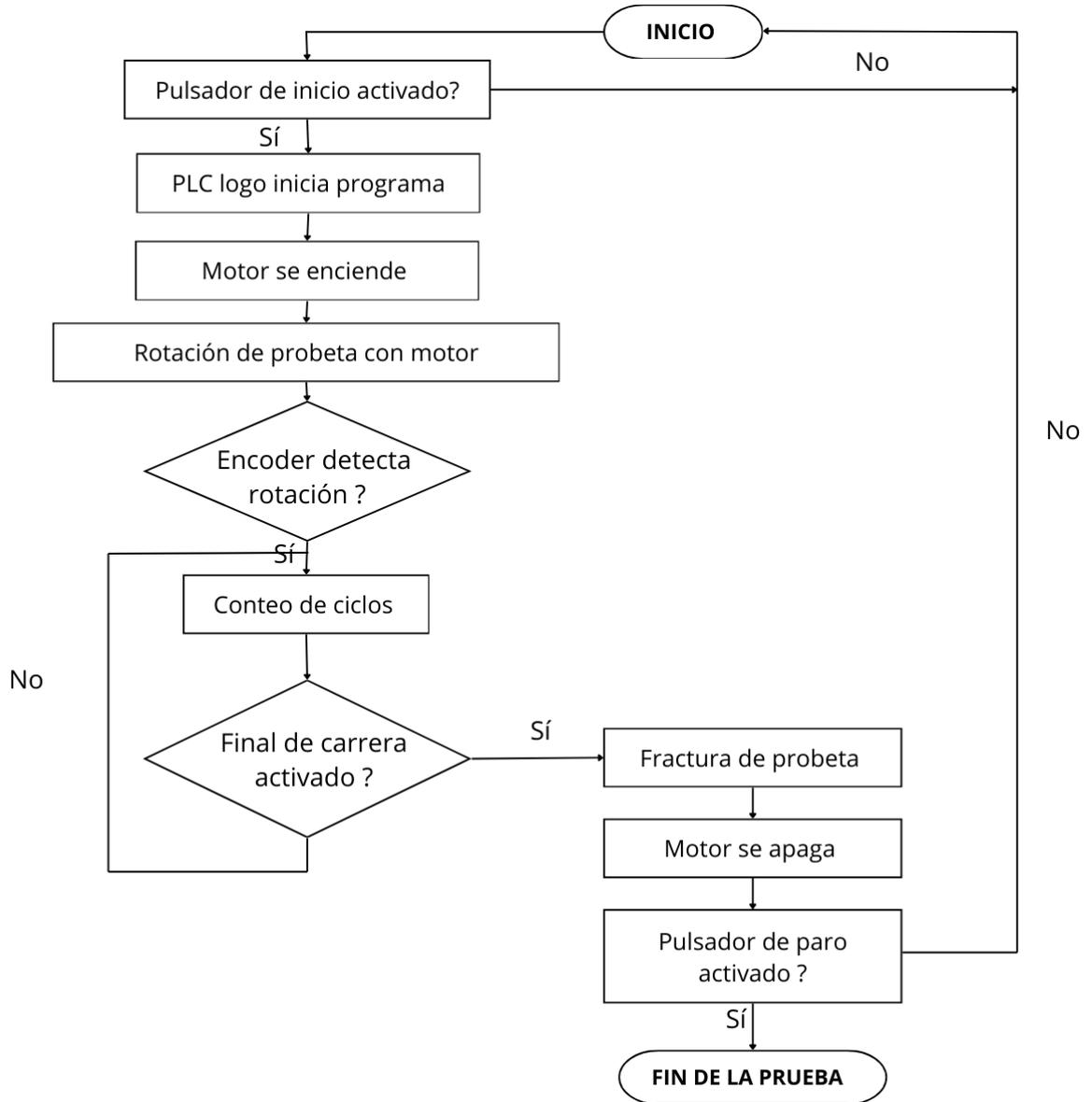
Figura 30: Interfaz de usuario, Elaborado por Vallejos Bryan, Valencia Steve.

La interfaz se encuentra configurada en la red, para poder evaluar las probetas, consta de una extensión 192.168.0.2, en anexos se encuentra un manual de como configurar la red y acceder a la interfaz.

2.3.3 Flujograma del diseño experimental:



2.3.4 Diagrama de flujo del proceso de automatización



CAPÍTULO III

Análisis de costos

En este capítulo se analizarán los costos asociados al sistema de automatización de la máquina de ensayo de fatiga por flexión rotativa. Este estudio abarca tanto los costos directos como los indirectos, ofreciendo una visión completa del presupuesto necesario para la elaboración del proyecto.

El análisis del costo total en un proyecto de automatización como el descrito no solo refleja la inversión financiera directa en componentes físicos y tecnológicos, sino también una evaluación exhaustiva de los recursos requeridos para establecer y mantener el sistema. Este costo total engloba no solo la adquisición inicial de equipos y dispositivos, sino también los gastos asociados con la planificación, la integración, la implementación y el inicio operativo del sistema automatizado. Cada fase de este proceso implica consideraciones económicas que van desde la selección de proveedores hasta la logística de entrega y la capacitación del personal involucrado.

Además de los aspectos directamente relacionados con la adquisición de hardware y software específicos, el costo total incluye también la gestión de riesgos financieros y operativos. Esto implica la evaluación de posibles sobrecostos, fluctuaciones en los precios de los materiales, y la implementación de medidas para mitigar cualquier impacto negativo en el presupuesto general. La transparencia en la estimación y seguimiento de costos es crucial para garantizar que el proyecto se mantenga dentro de los límites presupuestarios establecidos y que se cumplan los objetivos de rentabilidad y eficiencia.

3.1 Costos directos

Son los costos relacionados con la automatización de la máquina de ensayos a fatiga por flexión rotativa determinados para la adquisición, instalación y funcionamiento; es decir, los costos de los componentes necesarios para su realización.

A continuación, se presentan en la tabla 10 los materiales y componentes empleados en la automatización de la máquina, junto con sus cantidad y costos respectivamente.

Tabla 12. Costos directos

Descripción	Cantidad	Precio	Total
Encoder	1	\$180.00	\$180.00
PLC (Logo Siemens)	1	\$240.00	\$240.00
Actuador	1	\$70.00	\$70.00
Contactador	1	\$28.49	\$28.49
Disyuntor	1	\$140.00	\$140.00
Fuentes de poder 24V	1	\$19.80	\$19.80
Perrilla on/off	1	\$4.61	\$4.61
Luces Piloto	2	\$3.20	\$6.40
Rele Térmico	1	\$18.06	\$18.06
Capacitor	1	\$6.00	\$6.00
Pulsador Metálico	2	\$3.36	\$6.72
Riel Din	1	\$2.07	\$2.07
Gabetin	1	\$20.00	\$20.00
Ejes para probetas	3	\$27.49	\$27.49
Otros	-	\$110.00	\$110.00
Total			\$879.64

La suma total de \$879.64 USD para todos los componentes subraya la importancia de una planificación financiera precisa y una gestión eficiente de costos en proyectos de automatización.

La tabla revela una variedad de costos para cada componente necesario en la automatización, desde precios más bajos como los fusibles y el riel Din, hasta costos más significativos como el PLC y el encoder. Esta diversidad refleja la necesidad de considerar cuidadosamente cada elemento en función de su contribución al funcionamiento integral del sistema automatizado.

Los componentes eléctricos, tales como las luces piloto y el relé térmico, son elementos vitales en la configuración de cualquier sistema automatizado, a pesar de que su costo individual es relativamente bajo. Estos dispositivos desempeñan un papel fundamental en garantizar la

seguridad y el funcionamiento seguro del equipo, brindando una reacción veloz y eficaz ante emergencias y facilitando el monitoreo continuo del sistema. Además, su integración es crucial para cumplir con normativas de seguridad industrial, estándares regulatorios; lo cual ayuda a reducir distintos riesgos operativos y garantiza el cumplimiento de las normas establecidas, sino que también protege al equipo de posibles daños. La implementación adecuada de estos componentes es un factor clave en la prevención de accidentes y en la reducción de tiempos de inactividad, contribuyendo significativamente a la eficiencia y la fiabilidad global del sistema automatizado.

3.2 Costos indirectos

Los gastos indirectos no están directamente asociados con la adquisición de componentes físicos o dispositivos específicos que forman parte del sistema automatizado, pero son esenciales para su diseño, desarrollo e implementación del mismo.

Tabla 13. Costos indirectos

Descripción	Precio
Planos eléctricos	\$50.00
Programación	\$110.00
Planos mecánicos	\$50.00
Instalación eléctrica	\$90.00
Mecanizado de probeta	\$45.00
Total	\$345.00

La mayor proporción del presupuesto total se destina a la programación, representando un 32% del costo total del proyecto. Esto indica la importancia crítica de la fase de programación en la implementación del sistema, asegurando que la automatización funcione correctamente y cumpla con los requisitos operativos.

El costo de los planos eléctricos y mecánicos es similar, cada uno contribuyendo con \$ 50.00 respectivamente, lo que aproximadamente representa un 15 % de los costos de este apartado. Esta similitud recalca la necesidad de una planificación detallada tanto en la parte eléctrica como en la mecánica del proyecto, asegurando que ambas disciplinas estén bien integradas y coordinadas para el éxito general del sistema.

Aunque el costo de la instalación eléctrica es significativo, representando el 26 % del total de costos indirectos, es esencial para la puesta en marcha efectiva del sistema automatizado. Este costo incluye costo por mano de obra y distintos materiales necesarios desde cables hasta borneras para asegurar que todos los componentes eléctricos estén correctamente conectados y funcionando conforme a los requisitos específicos del proyecto.

Los costos indirectos totales en el proyecto son de \$ 345.00, lo que refleja los costos requeridos para realizar todas las actividades fuera de los componentes físicos para llevar a cabo con la automatización del proyecto tales como planos, programación y la instalación del mismo. Estos costos son fundamentales para asegurar que el sistema sea de alta calidad y funcione de manera efectiva, desde la etapa inicial de diseño hasta la ejecución y puesta en marcha.

3.3 Descripción del costo total

El proyecto de automatización de la máquina de ensayo de fatiga por flexión rotativa requiere una inversión aproximada de total de \$ 1,224.64. Este presupuesto garantiza no solo la adquisición y configuración de los componentes físicos necesarios, sino también la realización de actividades cruciales como la programación del PLC, la elaboración de planos y la instalación eléctrica. La gestión eficiente de estos costos es primordial para asegurar la calidad, funcionalidad y seguridad del sistema automatizado.

Con esta información, se proporciona una visión detallada de los costos involucrados en la automatización de la máquina de ensayo, asegurando una implementación exitosa y rentable del proyecto.

CAPÍTULO IV

Resultados

En este capítulo se ofrece un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos en un total de diez ensayos de fatiga por flexión rotativa realizados con dos tipos de acero: 1018 y 1045. Los ensayos se realizaron con una carga aplicada constante de 32.2 kg y una velocidad de rotación de 765 rpm. Se evaluaron las características de las probetas, se calculó la vida útil real de cada ensayo y se comparó el comportamiento de ambos materiales bajo las mismas condiciones de ensayo. Se discute además el impacto de la automatización en la confiabilidad y precisión de los resultados.

4.1 Características de las probetas

Se considera que las probetas utilizadas en estos ensayos tienen las siguientes características:

- **Longitud:** 140 mm
- **Diámetro mayor:** 12 mm
- **Diámetro menor:** 6 mm

4.2 Condiciones de ensayo

- **Velocidad de rotación:** 765 rpm (revoluciones por minuto)
- **Carga aplicada:** 32.2 kg

4.3 Duración del ensayo

Los tiempos de fractura para cada ensayo varían según el material y el número de ensayo específico. Se presentan los resultados para cinco ensayos con acero 1018 y cinco ensayos con acero 1045.

4.4 Resultados de los ensayos

Tabla 14. Datos del acero 1018

Ensayo	Material	Tiempo (segundos)	Ciclos
1	1018	75	1060
2	1018	77	1081
3	1018	70	970
4	1018	69	973
5	1018	72	1024

Tabla 15. Datos del acero 1045

Ensayo	Material	Tiempo (segundos)	Ciclos
1	1045	54	572
2	1045	48	533
3	1045	62	621
4	1045	59	605
5	1045	57	560

4.5 Análisis de resultados

Ambos aceros exhiben una tendencia decreciente en el número de ciclos hasta la falla a medida que aumenta la amplitud de esfuerzo. Esto es consistente con el principio general de fatiga, que establece que los materiales pueden soportar una mayor cantidad de ciclos de carga y descarga a menores esfuerzos.

4.5.1 Comportamiento del acero 1045

La vida útil real de las probetas de acero 1045 varió entre 533 y 621 ciclos, con un valor promedio de 578 ciclos.

Se evidenció una mayor variabilidad en la vida útil en comparación con el acero 1018, lo que podría estar relacionado con la mayor sensibilidad del acero 1045 a las condiciones de ensayo.

Para la construcción de la gráfica se aplica la ecuación 3:

$$1000 \text{ ciclos} = f \cdot (Sut) \quad (113)$$

$$1000 \text{ ciclos} = 0.9 \cdot 627 \text{ (MPa)}$$

$$1000 \text{ ciclos} = 564.3 \text{ (MPa)}$$

El factor f se lo obtiene de la ecuación (4.9) del libro de Diseño de Máquinas de Robert Norton, dato que se usa para ensayos a flexión.

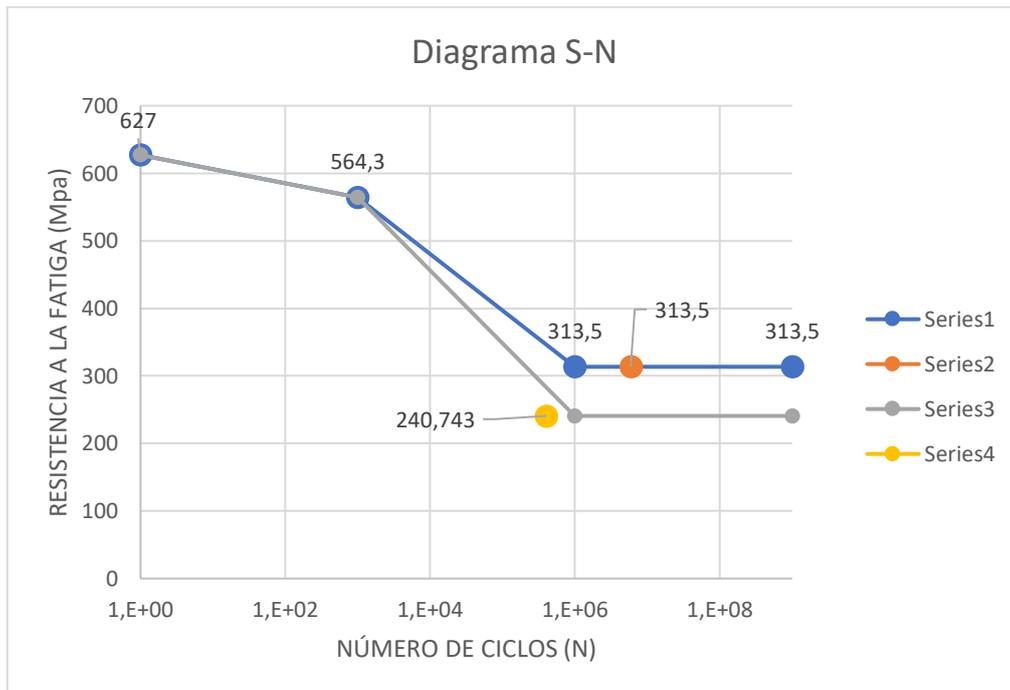


Figura 31: Diagrama S-N del material 1045, Elaborado por Vallejos Bryan, Valencia Steve.

Se observa una relación inversa entre el esfuerzo aplicado y la vida útil del material, esto significa que, a mayor esfuerzo, menor será la vida útil de la pieza.

Zonas diferenciadas, la gráfica se puede dividir en dos zonas:

- **Zona de altos esfuerzos:** En esta zona, la vida útil disminuye rápidamente a medida que aumenta el esfuerzo.
- **Zona de bajos esfuerzos:** En esta zona, la vida útil aumenta significativamente a medida que disminuye el esfuerzo.

La serie 1 de la figura 27, indica que los factores de corrección no están aplicados, mediante la ecuación (4.2a), del libro de Norton está diseñado para un límite de resistencia a la fatiga en aceros de:

$$S'_e \cong 0.5S_{ut}; S_{ut} < 200 \text{ ksi}$$

Entonces:

$$S'_e = 0.5 \cdot (627 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 313.5 \text{ (MPa)}$$

La serie 2, muestra el límite de resistencia a la fatiga S'_e relacionado con el numero de ciclos N que para calcular se presenta en la ecuación 7:

$$N = \left(\frac{\sigma_{inv}}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (7)$$

Existen coeficientes que son a y b , forman parte de la ecuación 4 para poder obtener la resistencia a la fatiga:

$$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e'} \quad (14)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{f \cdot S_{ut}}{S_e'} \right) \quad (15)$$

La resistencia a la fatiga S_f viene expresada por:

$$S_f = aN^b \quad (16)$$

Para calcular el coeficiente a :

$$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e'} \quad (17)$$

$$a = \frac{0.9 \cdot 627 \text{ MPa}}{313.5 \text{ MPa}}$$

$$a = 923.150$$

Para el coeficiente b:

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f \cdot S_{ut}}{S_{e'}}\right) \quad (18)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f \cdot S_{ut}}{S_{e'}}\right)$$

$$b = -0,0850908$$

Se reemplaza:

$$N = \left(\frac{\sigma_{inv}}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (19)$$

$$N = \left(\frac{245}{923.150}\right)^{\frac{1}{-0.850908}}$$

$$N = 6E + 06$$

La serie 3, muestra con factores de corrección un nuevo diagrama:

$$S_e = C_{carga} C_{tamaño} C_{superf} C_{temp} C_{conf} S_{e'} \quad (20)$$

C_{carga} se obtiene de la ecuación (4.7a) de Norton:

$$C_{carga} \text{ a flexión} = 1$$

$C_{tamaño}$ de la ecuación (4.7b) de Norton, para $8mm < d \leq 250mm$:

$$C_{tamaño} = 1.189d^{-0.097}$$

$C_{superficie}$ de la gráfica (4.22) del libro Norton:

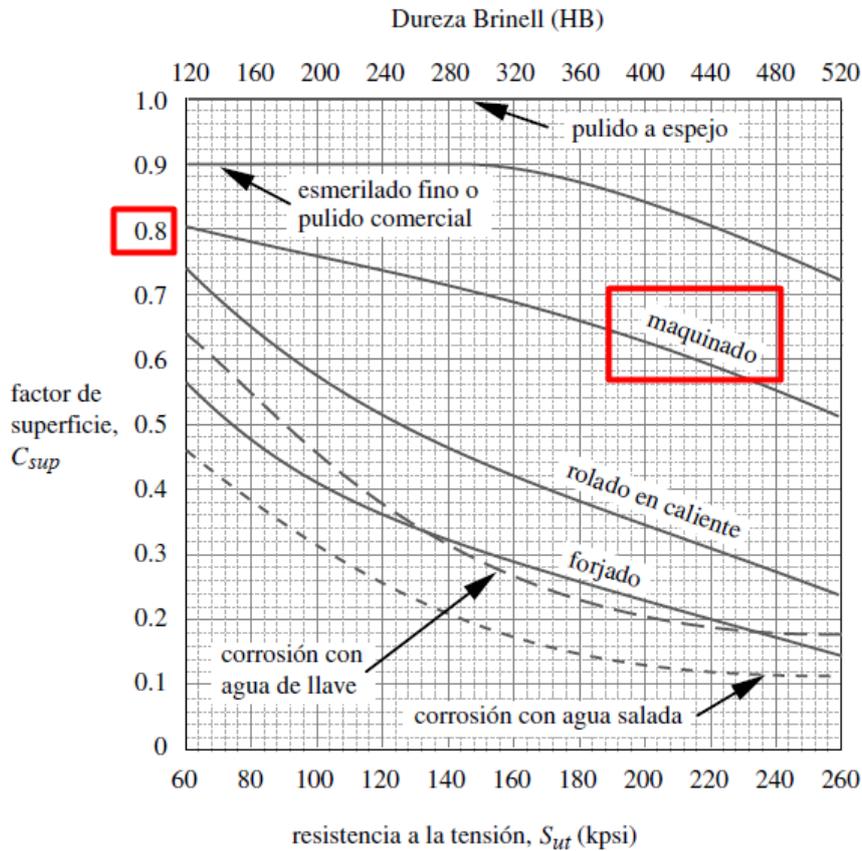


Figura 32: Factores de superficie según el acabado, [13].

$C_{temperatura} = 1$, para $T \leq 450^{\circ}C$, de la ecuación (4.7f) de Norton.

$C_{confiabilidad}$, de acuerdo con la tabla (4.4) del libro de Norton, el porcentaje de confiabilidad es del 95% = 0.868.

Finalmente se remplazan los valores:

$$S_e = 1 \cdot 0.9599 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 0.868 \cdot 313.5$$

$$S_e = 240.74 \text{ (MPa)}$$

La serie 4, muestra la gráfica ya corregida y relacionada con el nuevo $N=4 \text{ E}+05$.

En sí los factores de corrección del acero 1045 se utilizan para ajustar los resultados de los ensayos de fatiga y obtener valores más precisos y representativos de las condiciones reales de servicio.

Concluyendo que el acero 1045 tiene una buena resistencia, lo que significa que puede soportar altas cargas sin deformarse o romperse. Esta combinación de ductilidad y resistencia hace que el acero 1045 sea una buena opción para una amplia gama de aplicaciones.

4.5.2 Comportamiento del acero 1018

La vida útil real de las probetas de acero 1018 osciló entre 970 y 1081 ciclos, con un valor promedio de 1014 ciclos.

Se observó una ligera variabilidad en la vida útil, la cual podría atribuirse a factores como la variabilidad inherente del material, la precisión en la fabricación de las probetas, alineamiento de la probeta con los ejes y la naturaleza aleatoria de la fatiga.

Para el diagrama del acero 1018, se realiza los respectivos cálculos tomando como referencias el análisis del material 1045 se reemplazan valores, el 1018 tiene 64 (KSi), de acuerdo con el libro de Diseño de Máquinas de Robert Norton, se aplica la ecuación (2) para convertir a en unidades de (MPa):

$$1 \text{ (KSi)} = 6.89476 \text{ (MPa)} \quad (21)$$

$$S_{ut}64 \cdot 6.89476 \approx 447 \text{ (MPa)}$$

$$S'_e = 447 \cdot 0.5 = 223.5$$

Dato esencial para armar el diagrama S – N. Además, para evitar todo el proceso que se lleva a cabo con el acero 1045, los datos son los mismos con respecto a los factores de corrección:

$$S_e = C_{carga} C_{tamaño} C_{superf} C_{temp} C_{conf} S'_e \quad (22)$$

$$S_e = 1 \cdot 0.9599 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 0.868 \cdot 223.5$$

$$S_e = 148.975 \text{ (MPa)}$$

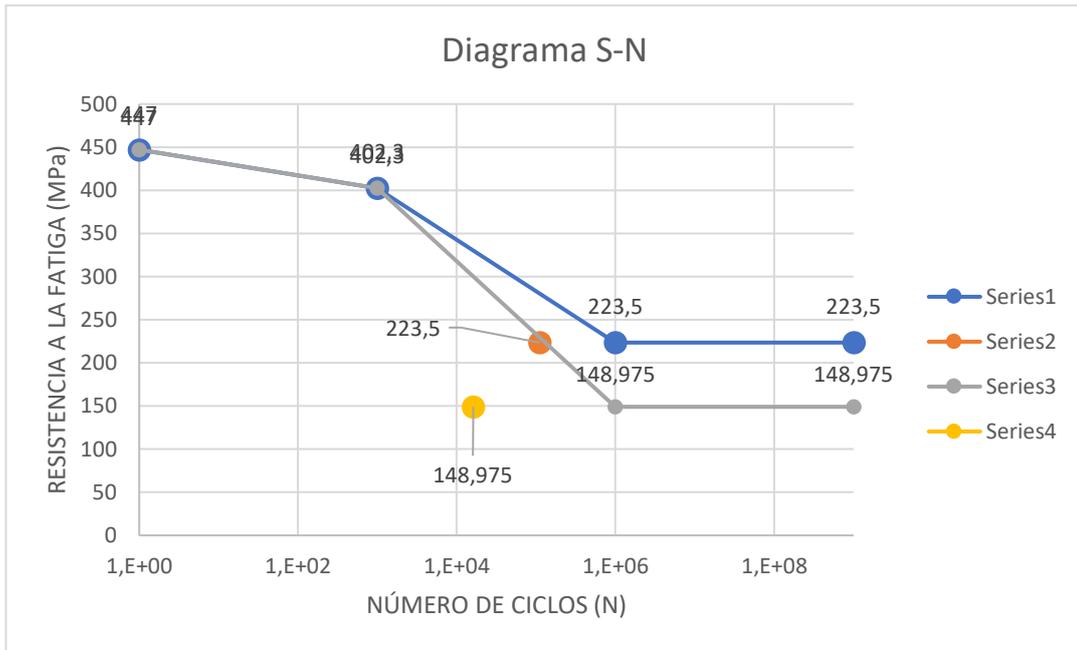


Figura 33: Diagrama S-N del material 1045, Elaborado por Vallejos Bryan, Valencia Steve.

En sí los factores de corrección para el material 1045 se utilizan para ajustar los resultados de los ensayos de fatiga y obtener valores más precisos y representativos de las condiciones reales de servicio.

4.5.3 Comparación entre aceros

En general, el acero 1018 presentó una mayor vida útil promedio (1014 ciclos) que el acero 1045 (578 ciclos) bajo las mismas condiciones de ensayo.

El acero 1018 es un acero de bajo contenido de carbono, conocido por su buena ductilidad, maleabilidad y facilidad de mecanizado. Es conveniente para cuando se requiere una buena soldabilidad y un acabado superficial suave. Por lo tanto, el acero 1018 es una opción común para piezas mecanizadas, pernos, ejes y componentes que no están sometidos.

El acero 1045, por otro lado, es un acero de medio carbono que ofrece una mayor resistencia y dureza en comparación con el 1018. Es adecuado para aplicaciones que requieren mayor resistencia mecánica y dureza, como engranajes, ejes y componentes sometidos a mayores tensiones. Sin embargo, el 1045 puede ser más difícil de mecanizar y soldar debido a su mayor contenido de carbohidratos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los ensayos de fatiga por flexión rotativa a 765 RPM revelan que el acero 1018 supera al acero 1045 en resistencia a la fatiga, soportando un promedio de 1014 ciclos (aproximadamente 73 segundos de operación continua) frente a los 578 ciclos del acero 1045 (alrededor de 56 segundos). Esta diferencia se debe a que el acero 1018, con su mayor ductilidad y menor dureza, absorbe mejor las cargas cíclicas y distribuye el estrés de manera más uniforme, evitando la acumulación de tensiones concentradas que pueden causar fracturas. En contraste, el acero 1045, siendo más duro y menos dúctil, es más susceptible a la acumulación de tensiones y a la iniciación de grietas, resultando en una menor resistencia a la fatiga. Por lo tanto, el acero 1018 es una opción superior para aplicaciones que requieren alta resistencia a la fatiga, ofreciendo mayor durabilidad y prolongando la vida útil de los componentes.

Utilizar un sistema LOGO! en lugar de un PLC para el control debido a su capacidad para manejar la resolución del codificador de manera más eficiente y se utiliza para controlar pequeñas aplicaciones de automatización adecuado para la máquina de ensayos a fatiga. El sistema LOGO! demuestra ser adecuado para aplicaciones que requieren una detección precisa del codificador gracias a su capacidad para procesar señales con alta resolución, lo que garantiza una medición y control más exactos. En contraste, aunque los PLC ofrecen una gama más amplia de funciones y flexibilidad, en este caso específico, el sistema LOGO! proporciona la solución óptima en términos de costo y capacidad técnica para la tarea en cuestión. La elección del LOGO! asegura un rendimiento adecuado en la detección del codificador, lo que resulta en un sistema de control más eficiente y ajustado a las necesidades específicas.

De acuerdo con el análisis del diagrama esfuerzo – vida, la comparación de los materiales 1018 y 1045. El acero 1045 exhibe una mayor resistencia a la fatiga que el acero 1018, en otras palabras, para una misma amplitud de esfuerzo, el acero 1045 puede soportar una mayor cantidad de ciclos de carga y descarga antes de fallar. Esta resistencia a la fatiga se debe principalmente a la mayor resistencia y ductilidad del acero 1045 en comparación con el acero 1018, concluyendo que la resistencia a la fatiga del acero 1045 lo convierte en una mejor opción para aplicaciones que requieren soportar cargas cíclicas repetitivas.

La selección de los componentes para el diseño para el sistema de potencia se los elige mediante un análisis de cálculo, todo empieza con la intensidad nominal que arroja el motor con un dato de 3.5 [A], la presencia de un contactor la corriente del componente tiene que ser > 3.5 [A] y un interruptor termomagnético (IT), cuenta con 4.2 [A], no necesariamente tiene que existir este valor en las especificaciones del dispositivo, mejor se elige un rango de corriente que este dentro del parámetro, en este caso se cuenta con un (IT) Schneider hasta una capacidad de 20 [A], tranquilamente soporta la corriente. En la máquina de fatiga por flexión rotativa es esencial para asegurar la protección eléctrica del sistema y la seguridad operativa.

El encoder HEIDENHAIN ERN 420 1024 7PS12-95 es una excelente opción para aplicaciones que demandan alta precisión y confiabilidad, lo que lo hace ideal para la máquina de ensayos. El encoder genera pulsos cada vez que el eje gira una cantidad específica en este caso, 1/1024 de revolución, la elección del encoder es por su resolución de 1024 pulsos contados desde un punto de referencia inicial permite calcular las revoluciones del motor, además este sensor incremental depende de diversos factores, incluyendo la precisión requerida, el entorno de la máquina, el presupuesto disponible y la facilidad de instalación al momento de acoplar al motor.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar herramientas de alineación precisas y revisar meticulosamente la colocación de cada probeta para asegurar su correcta posición. Es crucial que la probeta esté correctamente nivelada y centrada antes de iniciar los ensayos. Una probeta desalineada puede generar esfuerzos adicionales y no deseados, lo que podría afectar la precisión de los resultados del ensayo.

Las probetas utilizadas en los ensayos deben contar con un mecanizado o acabado de alta calidad. Un acabado deficiente puede introducir defectos superficiales que afecten la precisión y la repetibilidad de los ensayos de fatiga. Se recomienda verificar que las probetas sean fabricadas y preparadas de acuerdo con las especificaciones exactas, utilizando métodos de mecanizado adecuados y realizando controles antes de su uso en los ensayos. Un buen acabado asegura que las probetas presenten una superficie uniforme y libre de imperfecciones, lo que contribuye a obtener datos de ensayo más confiables y representativos.

Asegurarse de que el peso aplicado no esté desequilibrado es esencial para mantener la integridad del ensayo. Un desequilibrio en la carga puede conducir a resultados erróneos y potencialmente dañar el equipo de ensayo. Es recomendable calibrar regularmente los dispositivos de aplicación de carga y monitorear durante todo el ensayo para evitar cualquier desequilibrio.

Una vez que la probeta se fracture, es fundamental accionar inmediatamente el pulsador rojo, puede ser en la interfaz o en la caja de control, para detener el motor y garantizar la seguridad del operador y del equipo. Esta acción rápida y decisiva evitará posibles daños adicionales al sistema y reducirá el riesgo de accidentes. Se debe capacitar al personal en el uso correcto de los dispositivos electrónicos para establecer procedimientos claros para actuar en caso de falla de la probeta.

REFERENCIAS

- [1] C. Borja and A. Tapia, “Automatización de la máquina de ensayos de fatiga para el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE,” 2017.
- [2] R. Budynas, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 9th Edició. México D.F., 2012.
- [3] H. Chávez and F. Coyago, “Diseño, Simulación Y Construcción De Una Máquina Para Ensayos De Fatiga Por Flexión Rotativa,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2023.
- [4] I. Carrascal Vaquero, S. Cavia, J. A. Del Prado, D. Farreño Blanco, and J. Setién Marquinez, “Caracterización De Materiales Fatiga.” Creative Commons BY-NC-SA 4.0, p. 81, 2018.
- [5] J. L. Avila Ambriz, “Estudio de la Resistencia a la Fatiga en Condiciones de Flexion Rotativa con Corrocion Artificial de la Aleacion de Aluminio Nominacion AISI - SAE 6063 T5,” 2012.
- [6] R. Aguiar, B. Cagua, and J. Pilatasig, “Pushover con Acoplamiento de CEINCI-LAB y OpenSees,” *Cent. Int. Métodes ...*, no. July, 2020.
- [7] W. Cui, X. Huang, and F. Wang, “Basic concepts of fracture mechanics,” *Adv. Top. Sci. Technol. China*, pp. 91–115, 2014, doi: 10.1007/978-3-642-41831-0_4.
- [8] G. Leboreiro Enríquez, “Diseño Y Construcción De Máquina De Ensayos De Fatiga a Flexión Pura Para Materiales Poliméricos Reforzados Con Fibra,” p. 141, 2019, [Online]. Available: https://oa.upm.es/54296/1/TFG_GUILLERMO_LEBOREIRO_ENRIQUEZ.pdf
- [9] J. Rodríguez, “Fatiga,” pp. 1–58.
- [10] Ó. Valderrama, “Método Esfuerzo - Vida,” p. 11, 2014, [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/221060092/Parte-2-metodo-Del-Esfuerzo-Vida>
- [11] M. Tobar and J. Carrillo, “Rediseño Y Construcción De Una Máquina Para Ensayos De

- Resistencia a La Fatiga Por Flexión Con Viga Rotatoria Versión Ii,” p. 304, 2020.
- [12] D. Erena Guardia, “Programa para el cálculo de ciclos de iniciación de grietas en fatiga,” 2015, [Online]. Available: <https://idus.us.es/handle/11441/73367>
- [13] R. Norton, *Diseño de Maquinaria*, 4 th Edici. México D.F., 2009.
- [14] S. M. Lazo, “Mecánica Aplicada Fatiga en Materiales,” pp. 8–35, 2016.
- [15] C. Rosso and D. Cogollo, “Diseño y construcción de una máquina de ensayos de fatiga bajo la norma ASTM E466 para el laboratorio de materiales y procesos de la Universidad de Córdoba,” vol. 15, no. 2, pp. 1–23, 2017.
- [16] S. S. Valencia and B. M. Vallejos, “Automatización de la Máquina de Ensayos Sometidos a Fatiga por Flexión Rotativa con Capacidad de 294 N·M,” UPS, 2024.
- [17] J. M. Escacena Ventura, “Normas Aplicadas a Los Ensayos,” p. 32, 2013, [Online]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4089/fichero/6.pdf>
- [18] E. Córdoba Nieto, “Manufactura y Automatización,” *Rev. Ing. e Investig.*, vol. 26, no. 3, pp. 120–128, 2006, [Online]. Available: <http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingev/article/view/14761>
- [19] E. Pérez Mandado, J. M. Acevedo, C. Fernández Silva, and J. Armesto Quiroga, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*, 2 th Edici. Ibarra: Biblioteca Digital Universidad Técnica del Norte, 2014. [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/s/silabo/item/14210>
- [20] E. Pérez, J. Acevedo, C. Silva, and J. Quiroga, “Automatas programables y sistemas de automatización,” 2009.
- [21] F. Torres, “Introducción a la Automatización y el Control,” *Autom. Optativa Ing. Informáticas*, pp. 28–32, 2018, [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18432/1/Tema_1_Introduccion.pdf
- [22] M. Nuñez, “Sistema de Lazos Abiertos y Cerrados,” pp. 1–4, 2018, [Online]. Available: <https://educacion.sanjuan.edu.ar/mesj/LinkClick.aspx?fileticket=yfplhxbU24%3D&ta>

bid=677&mid=1740

- [23] J. Venegas Requena, “Encoders Encoder en Cuadratura,” pp. 1–3, 2009, [Online]. Available: <http://ramos.elo.utfsm.cl/~elo212/docs/Encoders-jvr-v01.pdf>
- [24] SIEMENS, “Data Sheet,” *Rev. Paleontol.*, vol. 31402, no. September 2004, p. 3, 2018, [Online]. Available: http://www.papersearch.net/view/detail.asp?detail_key=10000715
- [25] Anju Thangam Joy, “Interruptor Automático.” [Online]. Available: <https://tameson.es/pages/interruptor-automatico-miniatura>
- [26] R. A. Ríos Guamangate, “Implementar un HMI Desarrollado en WinCC para Monitorear el Proceso de Control on / off con Histéresis de la Estación de Nivel del Laboratorio de Instrumentación Virtual de la UGT-ESPE Mediante un PLC y Generación de una Guía para Prácticas de Laboratorio,” 2020.
- [27] M. Suárez, “Automatización del horno autoclave de secado de materiales compuestos del centro de investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana-CIDFAE,” 2016.
- [28] C. G. QUINTERO M., J. A. O. LÓPEZ, and H. J. A. DE LA HOZ, “Sistemas de Adquisición de Datos,” *Instrumentación Electrónica Apl.*, pp. 30–38, 2018, doi: 10.2307/j.ctvvn89d.6.
- [29] F. M. González Longatt, “Introducción a los Sistemas de Información: Fundamentos,” *Sist. Inf.*, vol. 1, p. 7, 2007, [Online]. Available: <https://www.uv.mx/personal/artulopez/files/2012/08/FundamentosSistemasInformacion.pdf>
- [30] U. de las A. Puebla, “PLC Controlador Lógico Programable,” pp. 38–50, 2011, [Online]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf
- [31] S. Hernandez, “Partes del LOGO SIEMENS,” *Electricidad 11*. [Online]. Available: <https://electricidadgrado10.blogspot.com/2018/10/plc-o-logo.html>
- [32] J. Andrade Sosa, *Curso PLC logo 230rc Introducción*, (2022). [Online]. Available:

<https://www.youtube.com/watch?v=Jk2yg3jNCqs&t=305s>

- [33] R. Barquero Castillo, “Qué Son los Sensores y Cuáles Son Sus Tipos,” 2020.
- [34] MAAS SHOP, “Sensores y Controladores.” [Online]. Available: <https://www.maaslos-guenstig.de/heidenhain>
- [35] Drehgeber, “Rotary Encoders,” *Precis. Eng.*, vol. 12, no. 4, p. 107, 2017, doi: 10.1016/0141-6359(90)90076-b.
- [36] E. Cravo, “Codificador Funcionamiento, Tipos y Usos,” *KALATEC*, São Paulo, pp. 1–11, 2023. [Online]. Available: <https://blog.kalatec.com.br/encoder/>
- [37] Automation Control, “Limit Switch (ME-8107) Rotatable Lever Arm Type.” [Online]. Available: <https://www.automationcontrols.com.pk/product/limit-switch-me-8107-rotatable-lever-arm-type/>
- [38] ISCA UNIVERSITY, Australia. *Motores y Sistemas de Control - Actuadores*, (2023). [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=XjChE0zvk38&t=4s>
- [39] Tecno World, “MOTOR 1/3 SOLO 127/60 189D4153P002.” [Online]. Available: <https://twparts.com.mx/producto/motor-1-3-solo-127-60-189d4153p002/>
- [40] Friguscenter, “Drain Motor DC31-20014C.” [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-708582729-dc31-20014c-drain-motor-samsung-swd-118-qa21-5-dc31-20009k-_JM
- [41] E. Safg, “Fuente Suichada Industrial.” [Online]. Available: https://www.electronicasafg.com/MCO-537345812-fuente-suichada-industrial-12v-10a-s-120-12-sompom-_JM
- [42] EPTTEL, “Fuente De Poder Switching 24V/5a-120W,” p. 120, 2024.
- [43] HEACO, “Componentes Chint Relés.” [Online]. Available: <https://tudonghoahn.com/san-pham/ro-le-nhiet-chint-nxr-38-320-23-32a/>
- [44] Chintglobal, “NXR Thermal Overload Relay,” pp. 17–26, 2019, [Online]. Available:

<https://chintglobal.com/products/nxr-thermal-overload-relay-8-840>

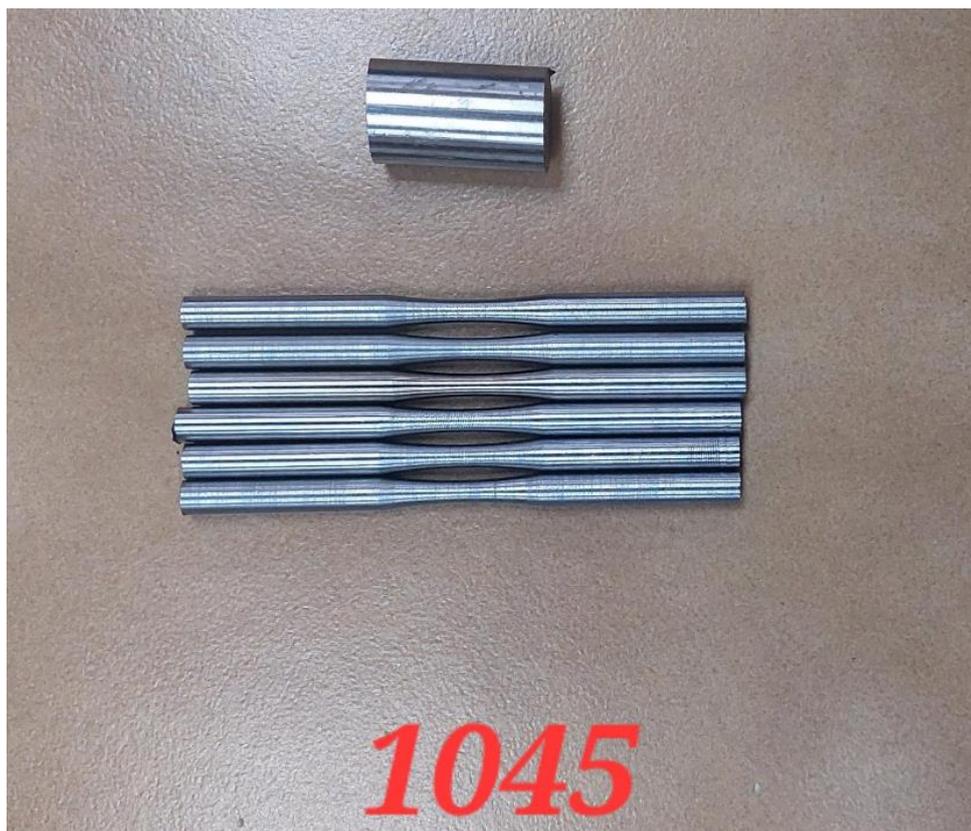
- [45] EBASEE, “EBASEE EBS1C.” [Online]. Available: <https://www.ebasee.com/product/ebs1c-ac-contactor/>
- [46] “Disyuntor.” [Online]. Available: <https://www.se.com/es/es/search/?q=disyuntor&submit+search+query=Search>
- [47] CODELECTRIC MADRIGAL, “Boton Pulsador Industrial Rojo Y Verde 22mm X10unds 220v.” [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-578870351-boton-pulsador-industrial-rojo-y-verde-22mm-x10unds-220v-_JM
- [48] Core Electronics, “Pomo Negro COM-09998,” Virtual Shop. [Online]. Available: <https://core-electronics.com.au/black-knob-15x19mm.html>
- [49] DANTER, “Luz Piloto Led 22mm 220V Chint.” [Online]. Available: <https://www.danter.cl/luz-piloto-led-22mm-220v-chint>
- [50] V. Gamboa, “Cables Eléctricos,” Pinterest. [Online]. Available: <https://co.pinterest.com/pin/780107966695063827/>

Anexos

Mecanizado de probetas



Probetas listas luego del mecanizado





Parámetros del mecanizado

TORNEADO DE CONTORNOS P 91
fatigatesisvalencia

Refrigerante conectado (ON)

X	173.600	F	0.00
Z	151.467	S	0
T	1	D	1

Desbistar

T	1	D	1
F	0.200	S	180
Fb	0.000	Δ	0.500

Acabado

T	1	D	1
F	0.120	S	200
δ	0.400		

General

vcc SMax 4200

Geo- metría
Tecno- logía
Cancelar
Aceptar

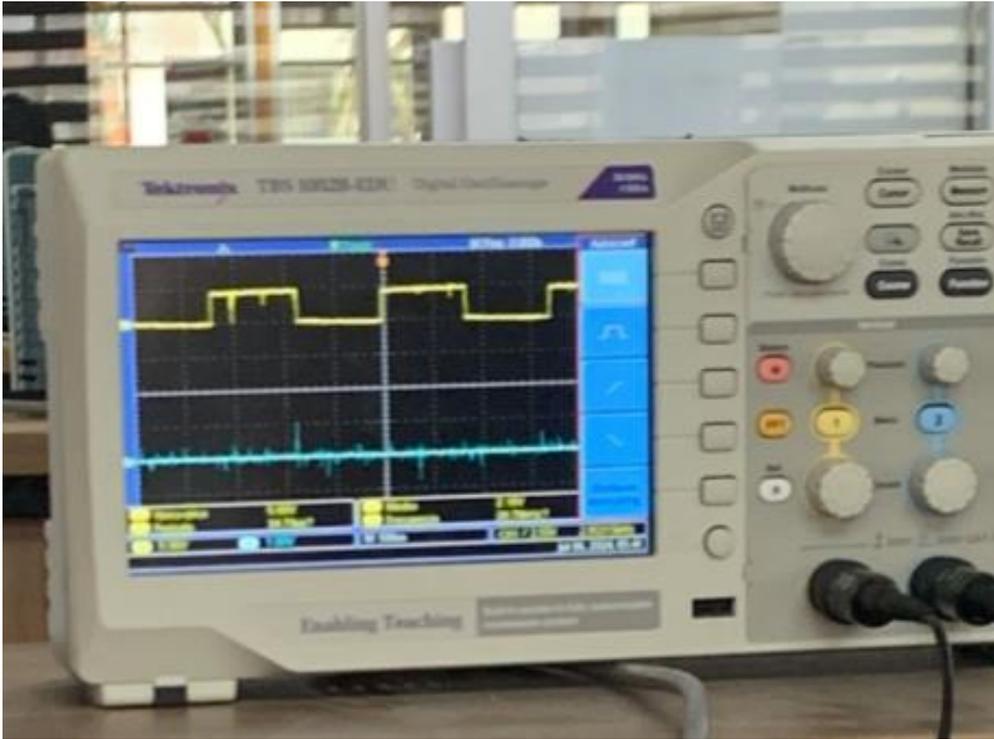
Esquema del ensayo



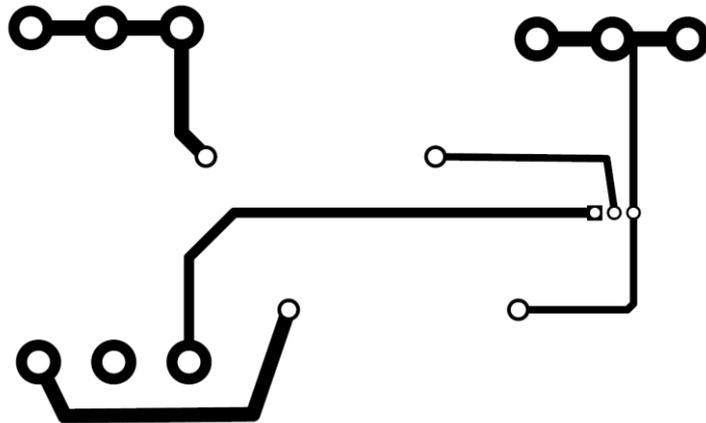
Señal de pin 6 funcionamiento del encoder a través de un circuito de saturación



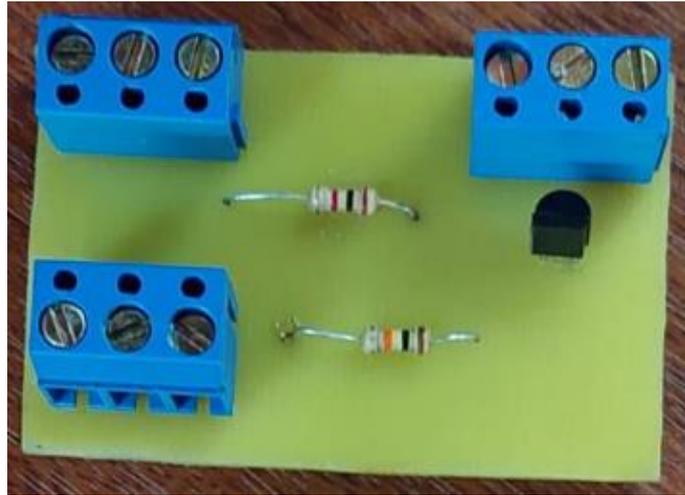
Señal del encoder



Circuito de saturación para el funcionamiento del encoder



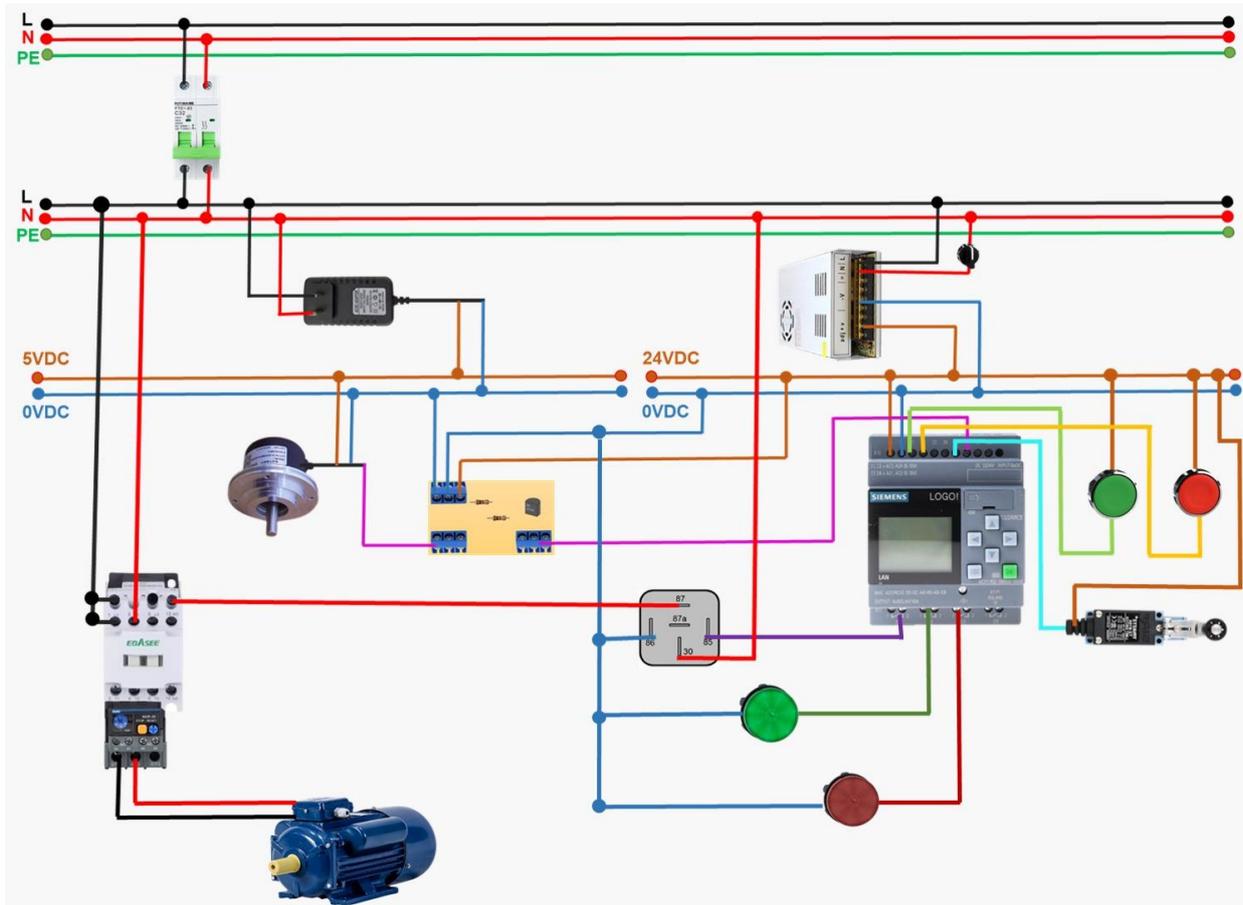
Placas con el diseño de saturación



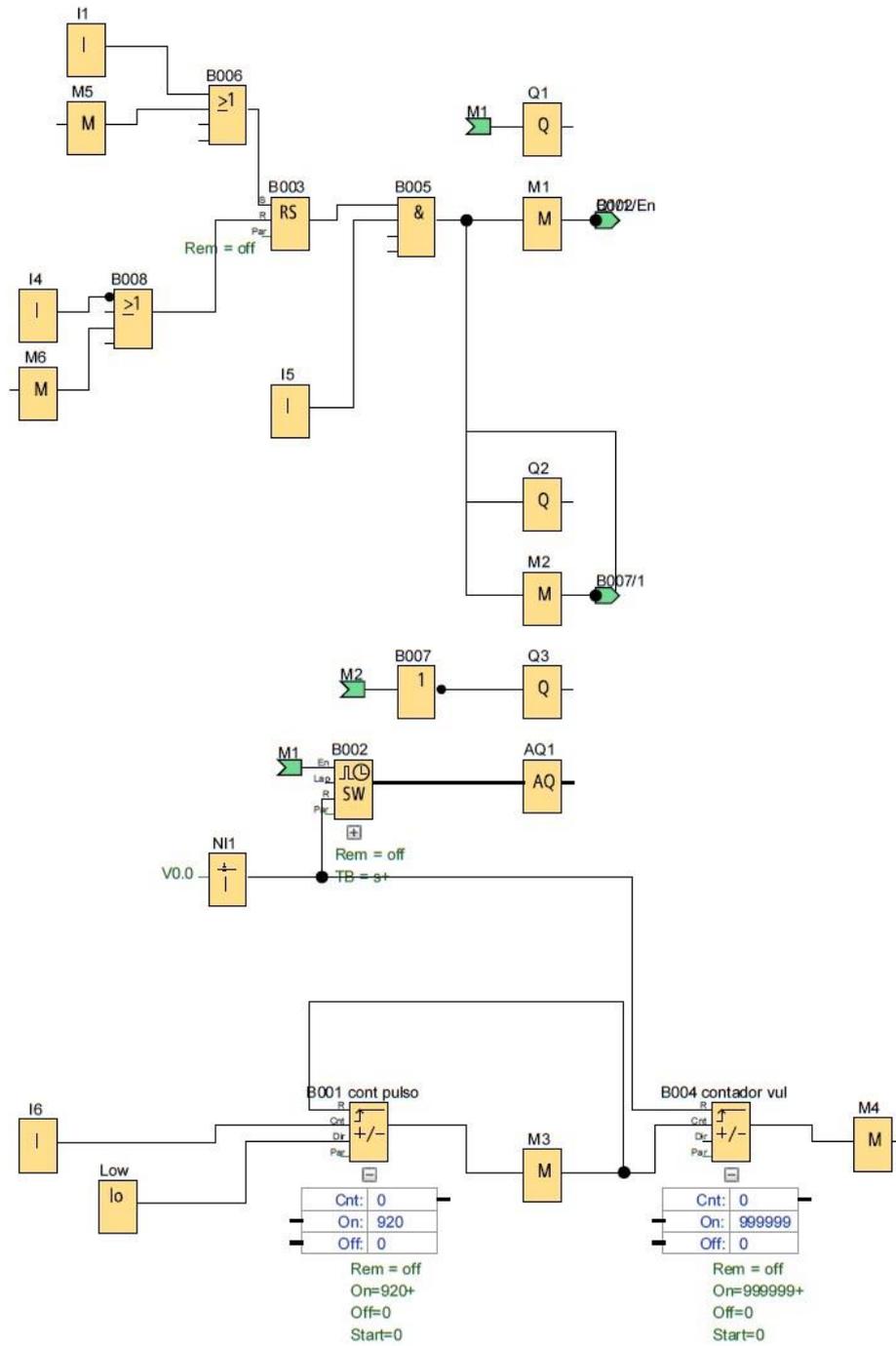
Diseño interno del tablero de control



Diseño eléctrico



Circuito de programación



Interfaz de usuario



Diseño final de la máquina

